

N° D'ORDRE :
2428

SÉRIE A.

N° DE SÉRIE :
1259

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. L. D'AZAMBUJA

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA STRUCTURE DE LA CHROMOSPHERE SOLAIRE.

2^e THÈSE. — LES MULTIPLÈTES DU SPECTRE DU FER.

Soutenues le juin 1930, devant la Commission d'examen.

MM. FABRY, *Président.*
ESCLANGON, *Examineurs.*
BRUHAT, }

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55

1930

N° D'ORDRE :
2128

SÉRIE A.

N° DE SÉRIE :
1259

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. L. D'AZAMBUJA

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA STRUCTURE DE LA CHROMOSPHERE SOLAIRE.

2^e THÈSE. — LES MULTIPLETS DU SPECTRE DU FER.

Soutenues le juin 1930, devant la Commission d'examen.

MM. FABRY,	<i>Président.</i>
ESCLANGON,	} <i>Examineurs.</i>
BRUHAT,	

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55

1930

UNIVERSITÉ DE PARIS.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

MM.

Doyen	C. MAURAIN, Professeur, Physique du globe.
Doyens honoraires.....	P. APPELL, M. MOLLIARD.
Professeurs honoraires...	A. JOANNIS, H. LE CHATELIER, H. LEBESGUE, A. FERN- BACH, A. LEDUC, E. HÉROUARD.
	E. PICARD Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
	KOENIGS..... Mécanique physique et expérimentale.
	GOURSAT..... Calcul différentiel et Calcul intégral.
	JANET..... Electrotechnique générale.
	WALLERANT..... Minéralogie.
	PAINLEVÉ..... Mécanique analytique et Mécanique céleste.
	GABRIEL BERTRAND.. Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE..... Physique générale et radioactivité.
	CAULLERY..... Zoologie (Evolution des êtres organisés).
	G. URBAIN..... Chimie générale.
	ÉMILE BOREL..... Calcul des probabilités et Physique mathématique.
	MARCHIS..... Aviation.
	JEAN PERRIN..... Chimie physique.
	RÉMY PERRIER..... Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	ABRAHAM..... Physique.
	M. MOLLIARD..... Physiologie végétale.
	E. CARTAN..... Géométrie supérieure.
	LAPICQUE..... Physiologie générale.
	VESSIOT..... Théorie des fonctions, théorie des transform.
	COTTON..... Physique générale.
	DRACH..... Application de l'Analyse à la Géométrie.
Professeurs.....	C. FABRY..... Physique.
	C. PEREZ..... Zoologie.
	LÉON BERTRAND.... Géologie appliquée et Géologie structurale.
	R. LESPIEAU..... Théories chimiques.
	E. RABAUD..... Biologie expérimentale.
	P. PORTIER..... Physiologie comparée.
	E. BLAISE..... Chimie organique.
	P.-A. DANGEARD.... Botanique.
	P. MONTEL..... Mécanique rationnelle.
	P. WINTREBERT.... Anatomie et histologie comparées.
	O. DUBOSCQ..... Biologie maritime.
	G. JULIA..... Mathématiques générales.
	A. MAILHE..... Etude des Combustibles.
	L. LUTAUD..... Géographie physique et géologie dynamique.
	EUGÈNE BLOCH..... Physique théorique et Physique céleste.
	HENRI VILLAT..... Mécanique des fluides et applications.
	CH. JACOB..... Géologie.
	P. PASCAL..... Chimie minérale.
	LÉON BRILLOUIN... Théories physiques.
	V. AUGER..... Chimie appliquée.
	E. ESCLANGON..... Astronomie.
	E. PÉCHARD..... Chimie (Enseign ^{nt} P.C.N.)
	M. GUICHARD..... Chimie minérale.
	A. GUILLET..... Physique.
	C. MAUGUIN..... Minéralogie.
	L. BLARINGHEM.. Botanique.
	A. MICHEL-LÉVY.. Pétrographie.
	A. DEREIMS..... Géologie.
	A. DENJOY..... Calcul différentiel et intégral.
	H. BENARD..... Physique (P. C. N.).
	E. DARMOIS..... Physique.
	G. BRUHAT..... Physique.
	H. MOUTON..... Chimie physique.
	L. JOLEAUD..... Paléontologie
	M. JAVILLIER..... Chimie biologique.
	A. DUFOUR... .. Physique (P. C. N.).
	F. PICARD..... Zoologie (Evolution des êtres organisés).
	ROBERT-LÉVY.... Zoologie.
	L. DUNOYER..... Optique appliquée.
	A. GUILLIERMOND Botanique (P. C. N.).
	A. DEBIERNE..... Radioactivité.
	M. FRECHET..... Calcul des Probabilités et Physique mathématique.

Secrétaire..... A. PACAUD.



A

MONSIEUR H. DESLANDRES

MEMBRE DE L'INSTITUT ET DU BUREAU DES LONGITUDES

Hommage de respectueuse reconnaissance.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553822_0072

PREMIÈRE THÈSE

RECHERCHES

SUR LA

STRUCTURE DE LA CHROMOSPHERE SOLAIRE ⁽¹⁾

AVANT-PROPOS.

On s'est presque exclusivement limité, jusqu'ici, pour former des images monochromatiques du Soleil avec le spectrohéliographe, à l'emploi des raies H et K du calcium ionisé et des raies de l'hydrogène, H_α , H_β , H_γ , H_δ .

Ces six radiations présentent, il est vrai, des caractères exceptionnels qui ont attiré spécialement l'attention sur elles.

Très marquées dans le spectre du disque, elles se prolongent, au delà du bord, à une hauteur notable au-dessus de celui-ci. Aucune autre raie, tout au moins dans le domaine aisément accessible à la photographie, ne possède à la fois ces deux propriétés. De plus, leur structure apparaît particulièrement complexe : elles offrent deux ou trois renversements

(1) Les recherches exposées dans ce Mémoire ont fait l'objet de cinq Notes à l'Académie des Sciences, aux dates et sous les titres suivants :

29 novembre 1926. — *Sur la structure de la chromosphère solaire* (C. R., 183, p. 1023).

3 octobre 1927. — *Sur la structure de la chromosphère solaire* (C. R., 185, p. 637).

2 juillet 1928. — *Images de la chromosphère solaire obtenues au spectrohéliographe avec la raie infrarouge du calcium ionisé λ 8542* (C. R., 187, p. 201).

28 janvier 1929. — *Emploi du spectrohéliographe à la détermination du niveau des vapeurs de la couche renversante ou partie basse de la chromosphère solaire* (C. R., 188, p. 380).

11 mars 1929. — *Sur la structure de la chromosphère solaire* (C. R., 188, p. 773).

successifs qui, extérieurement au bord, cessent d'être visibles à des hauteurs variées, indiquant par là qu'ils sont formés dans des couches de vapeur de niveaux différents. Ces renversements, assez mal définis dans les raies de l'hydrogène, mais très nets dans les raies H et K, donnent, au spectrohéliographe, des images distinctes ; on obtient ainsi, suivant l'interprétation généralement admise, la structure du calcium ionisé ou de l'hydrogène à des hauteurs échelonnées, comprises entre la surface et les régions les plus élevées observables dans la chromosphère. Enfin, les six raies précitées sont notablement plus larges que les autres raies de Fraunhofer, produites, pour la plupart, dans la partie basse de l'atmosphère gazeuse ou *couche renversante* ; elles peuvent, par suite, fournir des résultats utiles avec des instruments de dispersion même moyenne, de beaucoup les plus répandus.

Ces propriétés remarquables expliquent la préférence dont elles ont été l'objet. Cependant, les images du calcium ionisé et de l'hydrogène présentent entre elles, au même jour d'observation et à des niveaux voisins, de très grandes différences d'aspect. Il en est de même des images de l'un ou de l'autre élément, quand on modifie le niveau où elles sont formées. Quelques-unes de ces différences ont été interprétées de façon satisfaisante ; par contre, sur plusieurs points, les opinions restent partagées ; l'origine même des détails observés n'a pas toujours été clairement établie.

L'extension de la méthode spectrohéliographique aux raies de la couche renversante, en précisant nos connaissances sur les caractères des couches basses, pourrait contribuer à résoudre les questions en suspens ; elle offre donc un intérêt certain. Mais elle exige un instrument puissant. Or, le plus souvent, les raies déjà étudiées, choisies parmi les plus fortes du fer, de l'aluminium, du calcium neutre, etc., ont été isolées par des appareils trop peu dispersifs et n'ont pas donné de résultats concluants. Les seules images, faites avec un spectrohéliographe approprié, ont été obtenues par M. Deslandres et moi-même, en 1907 et en 1909, avec les deux raies du fer $\lambda 4046$ et $\lambda 4384$. Par leur aspect, nettement différent suivant la région des raies isolée dans la fente sélectrice, elles ont laissé soupçonner que la partie basse de la chromosphère était probablement, comme les parties élevées, formée de couches superposées. L'étude s'annonçait fructueuse ; malheureusement, elle n'a pu être alors poursuivie.

Je me suis proposé de la reprendre en l'étendant, dans des conditions de dispersion analogues, à un plus grand nombre de raies et en soumettant chacune d'elles à une exploration plus serrée.

Le grand spectrohéliographe double, à trois fentes, de Meudon, organisé

par M. Deslandres en 1909 et déjà employé pour quelques-uns de nos premiers essais, était particulièrement bien adapté à une recherche de ce genre. Grâce à la souplesse de ses combinaisons, il permet, en effet, d'isoler une radiation quelconque, de λ 3800 au proche infrarouge, avec une dispersion qui n'est jamais inférieure à 2 Å par millimètre et qui atteint 0,7 Å dans le violet extrême. La haute qualité de ses pièces optiques réduit au minimum les erreurs d'isolement dues à une définition insuffisante des raies. Enfin, le second spectrographe, éliminant à peu près complètement la lumière diffusée dans le premier, l'appareil donne des images très pures où les détails les plus faibles se marquent avec netteté.

J'ai pu ainsi, avec cet instrument, étudier, au cours des étés 1926 et 1927, les images données par onze raies de la couche renversante, appartenant à cinq éléments différents : fer, calcium, magnésium, sodium neutres; strontium ionisé. En 1928, les progrès de la sensibilisation chromatique m'ont permis d'ajouter à cette liste deux raies infrarouges du calcium ionisé.

Le présent Mémoire rend compte des résultats obtenus. Ceux-ci mettent en évidence plusieurs caractères nouveaux des images données par les raies de la couche renversante. Ils révèlent l'existence d'un lien entre la structure des vapeurs basses et celle des couches plus élevées et permettent ainsi de généraliser certaines interprétations limitées jusqu'ici à ces dernières. Enfin, les images fournies par les raies infrarouges montrent la possibilité d'obtenir, dès maintenant, des documents satisfaisants dans une région du spectre non encore explorée avec le spectrohéliographe.

L'interprétation des spectrohéliogrammes est intimement liée à la connaissance précise de l'aspect, en chaque point du disque solaire, de la raie employée à former l'image. Aussi, m'a-t-il paru nécessaire de décrire d'abord, dans une Introduction, les caractères si variés des diverses raies, en insistant plus spécialement sur ceux qui se rapportent à l'objet de cette étude.

Dans le premier Chapitre, je rappelle les propriétés des structures chromosphériques déjà reconnues et les principales interprétations qui en ont été données.

Ces deux exposés pourront sembler un peu longs; mais j'ai saisi là l'occasion de grouper, en dégageant autant que possible le lien qui les unit, les travaux dispersés dans de nombreux Mémoires.

Les Chapitres suivants se rapportent à la description de l'instrument et de la méthode d'observation, aux résultats obtenus et à la discussion de ceux-ci.

Enfin, le dernier Chapitre traite des raies infrarouges du calcium ionisé et des images qu'elles ont fournies.

J'adresse ici l'expression de ma profonde reconnaissance à M. H. Deslandres, dont les recherches capitales avec le spectrohéliographe ont servi de base à la présente étude et qui, au cours de celle-ci, m'a constamment donné son bienveillant appui.

Presque tous les clichés utilisés ont été obtenus avec le concours de M^{lle} M. Roumens, dont l'aide efficace et dévouée m'a été précieuse pour mener à bien les réglages délicats du grand instrument de Meudon. M^{lle} Roumens a fait aussi, ou refait après moi, la plupart des mesures destinées à établir les constantes de l'appareil et à interpréter les résultats. Je lui en exprime mes biens sincères remerciements.

Je remercie également M. H. Grenat, à qui je suis redevable de suggestions utiles et qui m'a aidé à déterminer quelques-unes des données expérimentales utilisées dans cette recherche.



INTRODUCTION.

ASPECT ET PARTICULARITÉS DES RAIES DU SPECTRE SOLAIRE.

1. *Remarques préliminaires.* — L'étude précise de l'aspect des raies solaires, sur les différents points du disque et au bord, exige un spectrographe ou un spectro-enregistreur ⁽¹⁾ à grand pouvoir dispersif (de l'ordre de l'ångström au millimètre, environ). De plus, l'image de l'astre, projetée sur la fente de l'instrument, doit avoir un diamètre assez grand pour que des détails de 5 secondes d'arc y soient facilement mesurables. Dans ce qui suit, nous supposons ces conditions réalisées, quitte à signaler, le cas échéant, les dispositions particulières employées par certains auteurs.

I. — Raies H et K du calcium ionisé.

2. *Caractères généraux sur le disque.* — Ces deux raies sont, de beaucoup, les plus importantes du spectre solaire. H.-A. Rowland, dans son travail classique [2], leur assigne respectivement les intensités 700 et 1000, alors qu'aucune autre raie n'y dépasse 40.

Leur structure, ainsi que nous l'avons rappelé au début, apparaît plus complexe que celle des autres raies : au milieu de la large bande diffuse qui constitue le premier renversement, on distingue (*Pl. I*, case 1, p. 8) une fine raie sombre, bordée de deux composantes brillantes. Celles-ci, comme nous le verrons plus loin, appartiennent à la même raie d'émission, divisée en deux par la raie d'absorption médiane. Suivant l'usage, nous désignerons ici par les indices 1, 2 et 3, respectivement, la bande diffuse, la raie d'émission et la raie sombre médiane, en ajoutant, aux indices 1 et 2, les lettres V ou R, pour indiquer qu'il s'agit des composantes situées du côté violet ou du côté rouge du spectre.

⁽¹⁾ La méthode du spectro-enregistreur, préconisée par H. Deslandres, a été décrite par lui dans les *Annales de l'Observatoire de Meudon*, t. 4, 1^{re} partie, 1910 [1] et dans diverses Notes aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.

Les parties dégradées H_1 , K_1 , où l'intensité ⁽¹⁾ croît d'une façon progressive, à partir du milieu des raies, jusqu'à se confondre avec celle du spectre continu voisin, sont, le plus souvent, appelées *ailes* de H et K.

L'existence de parties dégradées ou ailes est un phénomène commun à la plupart des raies solaires un peu importantes. Mais les ailes de H et K sont exceptionnellement larges. Autant qu'on puisse les délimiter, elles s'étendent à $15 \text{ \AA}$ au moins de part et d'autre des composantes médianes ⁽²⁾.

Les deux raies se comportant de façon presque identique, nous nous bornerons à décrire les caractères de K, un peu plus importante que H et mieux dégagée des raies étrangères.

La courbe de l'intensité lumineuse, dans la raie K (*fig. 1*), n'est pas

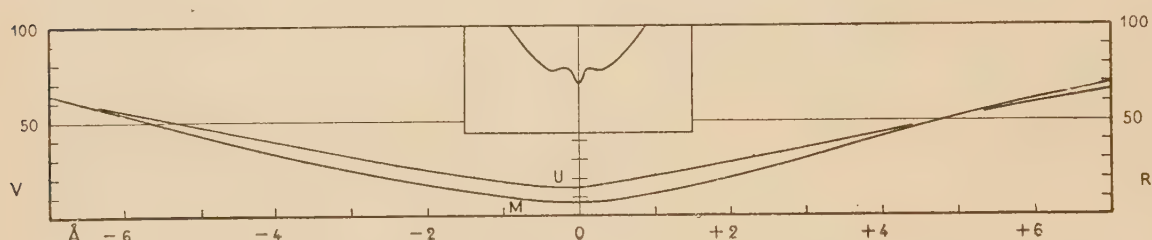


Fig. 1. — Courbe de l'intensité lumineuse dans la raie K, sur une région du Soleil non perturbée et voisine du centre du disque, d'après les résultats obtenus au microphotomètre enregistreur par A. Unsöld (U) et par M. Minnaert (M). L'ordonnée 100 correspond à l'intensité du spectre continu voisin. Dans la partie encadrée est reproduite, à une échelle décuple pour les ordonnées, la courbe d'intensité sur les composantes médianes, déduite des mesures photométriques de C.-E. Saint John.

encore connue d'une façon très précise, surtout en ce qui concerne la valeur absolue de l'intensité minima. K. Schwarzschild, en 1914 [4], avait estimé celle-ci à 9 pour 100 de l'intensité du spectre continu voisin. Suivant des mesures plus récentes, effectuées par M. Minnaert [5], elle serait même un peu plus faible (7 pour 100 environ). Par contre, A. Unsöld la trouve égale à 15 pour 100 [3].

Les trois auteurs sont d'accord pour signaler que la courbe est légèrement dissymétrique, en faveur de l'intensité sur le côté rouge.

L'aspect des composantes médianes varie beaucoup d'un point à l'autre du disque solaire. Sur une région non troublée et voisine du centre, elles

⁽¹⁾ Sauf en ce qui concerne l'échelle de Rowland, le mot *intensité*, dans ce Mémoire, aura toujours le sens d'*éclat*. Dans le cas d'intensités photographiques, en particulier, nous supposons que les estimations sont faites sur des images positives.

⁽²⁾ A. Unsöld a même noté récemment [3] que l'action absorbante des ailes se faisait encore sentir au milieu de l'intervalle de $35 \text{ \AA}$ qui sépare les deux raies, où l'intensité du spectre continu serait inférieure de 10 à 15 pour 100 à celle qu'il a normalement de part et d'autre des raies.

se distinguent assez peu sur le fond de la raie. C.-E. Saint-John a pu vérifier [6] que l'éclat de K_2 surpasse à peine de 2 pour 100 celui de la partie immédiatement voisine de K_1 (courbe encadrée dans la figure 1) et de 8 pour 100, environ, l'éclat de K_3 . Ce ne sont là que des valeurs moyennes autour desquelles l'intensité des deux composantes varie, même entre des points très rapprochés, dans des limites assez larges (*Pl. I*, case 14, p. 8).

Sur une *facule*, K_2 et K_3 subissent parallèlement une vive augmentation d'éclat (*Pl. I*, case 10, p. 8). Cette augmentation est d'ailleurs très variable d'une facule à une autre; elle est, relativement, plus marquée pour K_3 que pour K_2 [6]. Il n'est pas impossible que, dans certains cas, l'éclat de K_2 atteigne ou même dépasse celui du spectre continu voisin. Le plus souvent, toutefois, il lui reste inférieur de 15 à 20 pour 100 [6].

Il arrive fréquemment que, en une région du Soleil où l'observation directe ne révèle aucun phénomène particulier, la composante K_3 soit très assombrie. Parfois, K_2 est affaiblie également. Souvent aussi, elle conserve son intensité habituelle. Ces régions d'absorption particulière sont celles où se trouvent des protubérances, qui marquent ainsi leur passage sur le disque.

Les ailes K_1 participent, mais d'une façon très atténuée, aux fluctuations d'éclat des composantes médianes. Chaque renforcement de celles-ci se prolonge assez loin dans K_1 , d'autant plus loin qu'il est plus intense. Assez souvent, les renforcements peuvent être suivis jusque dans le spectre continu ⁽¹⁾.

Enfin, quand on étudie l'aspect de la raie à des distances croissantes du centre du disque, on voit K_2 se détacher de plus en plus nettement sur les composantes voisines. D'après Saint-John [6], cependant, son éclat reste à peu près constant. L'augmentation du contraste est due à un assombrissement progressif de K_1 et de K_3 qui atteint, près du bord, 5 pour 100 environ.

Le spectre continu s'assombrit plus rapidement. Il en résulte une diminution apparente de la largeur des ailes. La quasi-disparition de celles-ci, dans le spectre du bord solaire, est, d'ailleurs, un phénomène commun à toutes les raies qui en sont pourvues.

La largeur de K_3 et, par suite, l'écartement entre K_2 et K_{2a}

⁽¹⁾ Il semble que, un peu au delà de K_2 , le renforcement soit interrompu, ou, tout au moins, très affaibli. Cependant, comme nous le verrons plus loin, cette discontinuité est invisible dans les images fournies par le spectrohéliographe, à différentes distances du milieu de la raie.

subissent, comme l'intensité de ces composantes, des variations notables.

Au centre du disque, Saint-John estime la largeur moyenne de K_3 à $0,15 \text{ \AA}$ [7].

Sur les *taches*, K_{2v} et K_{2r} se rapprochent ou, même, se réunissent en une seule raie fine dont l'intensité est presque toujours du même ordre que l'intensité de K_3 , dans les régions voisines.

Sur les *facules*, l'accroissement d'éclat de K_2 et de K_3 rend les mesures difficiles. Suivant H. Deslandres [8], K_3 y serait relativement étroite, en général. Elle aurait, au contraire, une largeur supérieure à la moyenne dans une zone extérieure aux facules et entourant celles-ci. L'élargissement se ferait aux dépens de K_{2v} et de K_{2r} ou, dans d'autres cas, s'accompagnerait d'un élargissement analogue de ces composantes.

Sur les autres régions, les variations locales de largeur sont de plus faible amplitude et, par cela même, plus difficiles à distinguer des différences d'intensité. K_3 paraîtra plus étroite, par exemple, en un point où les composantes qui l'enserrent seront plus brillantes. Seuls, des tracés microphotométriques, encore à peu près inexistantes, permettraient d'établir les relations exactes entre les largeurs et les éclats. Encore faudrait-il définir de façon précise, sur ces tracés, ce qu'on doit entendre par *largeur* de composantes dont les contours sont, en général, diffus.

Indépendamment des variations accidentelles que nous venons de mentionner, il existe une variation systématique de la largeur de K_3 , laquelle augmente avec la distance au centre du disque. L'augmentation, d'abord assez lente, devient plus rapide au voisinage du bord, où la largeur est plus que doublée.

Un autre phénomène, d'allure également systématique, s'observe quand on compare entre eux les spectres obtenus au centre et à des distances croissantes de celui-ci. Les premiers révèlent une dissymétrie dans l'importance des composantes K_{2v} et K_{2r} [9]. Cette dernière est plus étroite et, peut-être, moins intense que K_{2v} . La dissymétrie diminue graduellement quand on approche du bord où elle disparaît à peu près complètement. Dans les régions faculaires où les composantes médianes sont très intenses, elle semble ne pas exister [8]. Elle est quelquefois masquée ou, au contraire, accentuée par des déplacements locaux de K_3 . Ceux-ci, de faible amplitude, en général, donnent à cette composante, quand on l'examine sur une section du disque faite avec une fente longue, un aspect sinueux très caractéristique [10] (*Pl. I*, case 14, p. 8).

3. *Aspect au bord.* — Dans les conditions ordinaires d'observation, la

Cases 1 à 9. — Aspect de quelques raies du spectre solaire
sur une région du disque non perturbée et voisine du centre.
Dispersion : $1 \text{ \AA} = 10^{\text{mm}}$.



1. — Ca II 3933,684 (K).



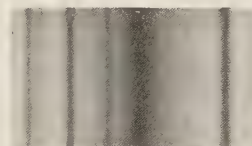
2. — H_{α} 6562,816.



3. — H_{β} 4861,344.



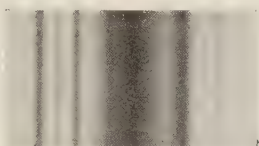
4. — H_{γ} 4340,477.



5. — H_{δ} 4101,750.



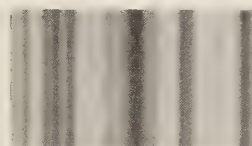
6. — Mg 5183,611 (b_1).



7. — Ca 4226,742.



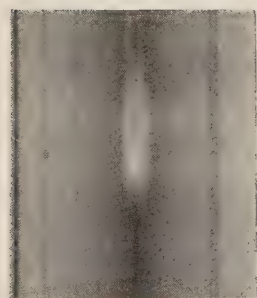
8. Na 5889,977 (D_2).



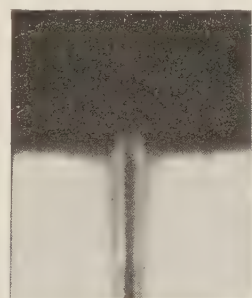
9. — Sr II 4077,726.

Cases 10 à 15. — Particularités des raies K et H_{α}

en différents points de la surface de l'astre et au bord.
Diamètre du disque solaire : 730^{mm} ($1^{\text{mm}} = 2'',6$ environ) dispersion : $1 \text{ \AA} = 5^{\text{mm}}$.



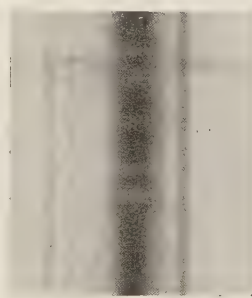
10. — Raie K
sur une facule.



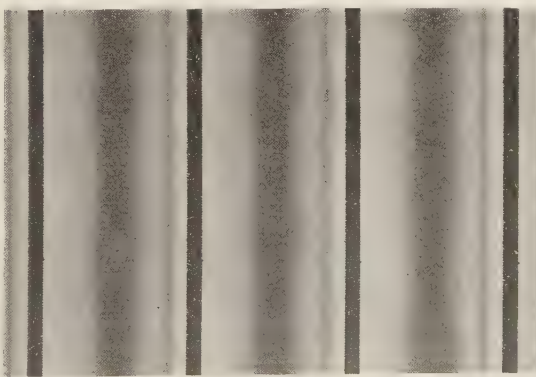
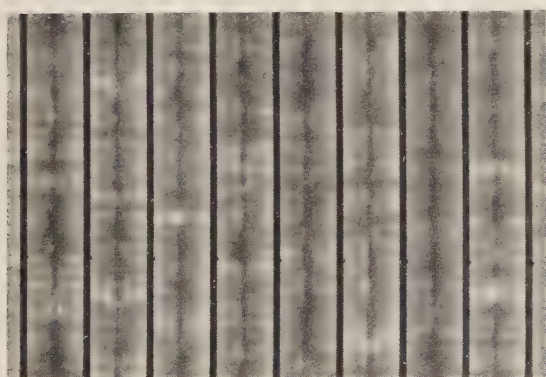
11. — Raie K
au bord (fente radiale).



12. — Raie H_{α}
au bord (fente radiale).



13. — Raie H_{α}
sur une facule.



14 et 15. — Portions d'épreuves du spectro-enregistreur des vitesses faites par images très calmes et montrant les variations d'aspect : de la raie K (à gauche) et de la raie H_{α} (à droite).

Nota. — Photographies obtenues au spectrohéliographe de Meudon. Dans chaque case, les longueurs d'onde croissent de la gauche vers la droite.

plupart des raies semblent se terminer au bord même du disque défini, sur les clichés, par la limite du spectre continu ⁽¹⁾.

K_1 obéit à cette règle générale ⁽²⁾. Mais les composantes médianes se comportent tout différemment : elles traversent la limite du spectre continu sans qu'on puisse noter de discontinuité sensible dans leur éclat et se terminent à des hauteurs échelonnées au-dessus de la surface. K_3 qui, sur le disque, s'élargit rapidement au voisinage du bord, atteint son maximum de largeur un peu au delà de celui-ci. Elle se rétrécit ensuite en affectant une forme à laquelle on a souvent donné le nom de *fer de lance*, qui en marque bien le caractère (*Pl. I*, case 11, p. 8).

K_{2v} et K_{2n} bordent K_3 sur les trois quarts de sa hauteur, environ. Cette dernière composante semble ensuite exister seule, se détachant en clair, par contraste, sur le fond noir du cliché.

Les extrémités des composantes sont diffuses et se prêtent mal à la mesure précise de la hauteur des vapeurs qui leur correspondent. D'après Saint-John [7], K_3 s'élève à 7 secondes géocentriques (5000^{km}, environ) et K_2 à 5 secondes (3500^{km}) ⁽³⁾. Ces valeurs se rapportent à des régions du bord où n'existe aucune protubérance. Sur celles-ci, l'aspect est différent ; parfois K_{2v} et K_{2n} , plus fines et plus serrées, y sont encore visibles ; mais, presque toujours, K_3 subsiste seule, revêtant les aspects les plus divers : fine et droite quelquefois ; plus fréquemment large, diffuse et ondulée.

4. *Interprétations.* — Selon H. Deslandres [11], l'aspect des composantes médianes, au bord solaire, donne à celles-ci leur véritable signification. D'une part, en effet, la forme en fer de lance de K_3 confirme nettement que K_2 n'est pas une raie double, mais une raie simple renversée par l'action absorbante des parties élevées, moins chaudes, de la vapeur. Cette interprétation est corroborée par l'échelonnement, en hauteur, des composantes d'indices 2 et 3 qui fixe les niveaux atteints par les couches superposées. D'autre part, le fait que K_2 et K_3 traversent la limite du spectre continu sans changement d'éclat révèle que, au voisinage du bord, tout au moins, la vapeur est à peu près totalement opaque à la lumière photosphérique.

Ainsi, les variations d'éclat des raies traduisent de réelles variations

⁽¹⁾ Nous supposons que la pose des clichés a été réglée de manière que le spectre de la lumière diffuse du ciel n'y apparaisse pas.

⁽²⁾ Comme sur le disque, l'aspect de la raie H, au bord, ne diffère pas sensiblement de celui de la raie K.

⁽³⁾ Suivant le même auteur, les hauteurs de H_3 et H_2 sont respectivement 6", 2 et 4", 4 (4500 et 3000^{km} environ).

d'éclat des vapeurs : *un spectrohéliographe, dont la fente sélectrice isole l'une des composantes, doit donc donner une image dont la lumière photosphérique est à peu près complètement bannie et qui représente, par suite, l'aspect de la couche gazeuse correspondante* ⁽¹⁾.

Il semble probable, toutefois, que la couche absorbante K_3 laisse transparaître quelque peu la lumière de la couche sous-jacente K_2 .

Nous avons vu plus haut (§ 2) que, sur les facules, K_3 était relativement étroite et qu'elle était élargie, au contraire, dans les zones circumfaculaires. H. Deslandres [8], s'appuyant sur l'élargissement graduel de K_3 au voisinage du bord où la vapeur est vue sous une épaisseur plus grande, en déduit que la couche supérieure est particulièrement mince au-dessus des facules et qu'elle est anormalement épaisse autour de celles-ci. Sur les taches, la couche moyenne manquerait.

La dissymétrie entre K_{2r} et K_{2n} a été étudiée spécialement par H. Deslandres [9], L.-E. Jewell [12] et C.-E. Saint-John [7]. Pour les trois auteurs, elle est due à des mouvements verticaux de descente de la couche supérieure par rapport à la couche moyenne. De tels mouvements doivent, en effet, produire un déplacement relatif de K_3 vers le rouge, maximum au centre du disque et nul au bord, ce qui est conforme à l'observation. Saint-John a même pu montrer [7], par des mesures faites en différents points d'un même diamètre, que la loi de variation dans le déplacement de K_3 offrait un accord remarquable avec la loi du cosinus exigée par l'hypothèse des mouvements verticaux. Au centre du disque, le déplacement moyen de K_3 par rapport à K_2 est sensiblement de $0,04 \text{ \AA}$ vers le rouge; ce qui correspond à un mouvement *relatif* de descente des vapeurs élevées d'environ 3 km/sec .

L'interprétation des spectrohéliogrammes, soulignée plus haut, a été étendue par plusieurs auteurs aux images données par les ailes de la raie K, qui représenteraient l'aspect d'une couche de calcium ionisé beaucoup plus basse que les couches K_2 et K_3 ⁽²⁾. Il est très probable, en effet, que la lumière émise par la vapeur contribue à donner aux ailes une

⁽¹⁾ Cette interprétation est à peu près universellement admise aujourd'hui. Aussi, citerons-nous seulement pour mémoire les hypothèses de G.-C. Schmidt et W.-H. Julius dans lesquelles les détails observés sur les spectrohéliogrammes seraient produits, pour la plupart, par des phénomènes de dispersion et de diffusion anormales.

⁽²⁾ On admettait autrefois que, dans cette couche basse, la pression pouvait atteindre plusieurs atmosphères, d'où l'extension considérable des ailes. On sait aujourd'hui que cette explication n'est pas valable et que la largeur des ailes doit être attribuée plutôt à la diffusion de résonance. Mais la conclusion sur le niveau n'est pas sensiblement changée (*voir*, en particulier, A. Unsöld [13]).

partie de leur éclat. On a souvent noté, même, au cours d'observations du spectre-éclair, faites pendant les éclipses, que cette émission s'étendait à des distances notables du milieu de la raie ⁽¹⁾. Mais l'intensité des ailes dépend aussi, pour une part qui devient rapidement importante quand on s'éloigne des composantes médianes, de la lumière photosphérique résiduelle et, *a priori*, il semble difficile de discerner jusqu'à quel point celle-ci intervient dans l'aspect des spectrohélogrammes. Nous reviendrons plus tard sur cette question que les recherches exposées dans ce Mémoire ont à peu près éclaircie.

Notons seulement qu'en supposant l'émission très prépondérante dans les ailes, on est amené à la conclusion que la couche de calcium produisant K_2 est plus lumineuse que la couche sous-jacente K_1 . De la stricte application de la loi de Kirchhoff, cette conclusion, comme l'ont fait remarquer G.-E. Hale et F. Ellerman [15], est un peu déconcertante; elle exige, en effet, que la couche K_1 , plus proche de la surface que K_2 , soit cependant à une température moins élevée. Il y a donc lieu de supposer, ou bien que l'éclat de K_2 n'est pas dû à l'action de la température seule, ou bien que celle-ci, dans la couche moyenne, subit une élévation accidentelle provoquée, par exemple, par des chocs. A la première hypothèse se rallie H. Deslandres [16], qui attribue l'éclat particulier de K_2 à des phénomènes de luminescence électrique. La seconde explication trouve des partisans en L.-E. Jewell [17] et en C.-E. Saint-John [7]. Ce dernier voit, dans la collision entre les vapeurs descendantes K_3 et les vapeurs ascendantes K_2 , la raison de l'accroissement de température, au niveau de la couche moyenne.

II. — Raies de l'hydrogène.

5. *Caractères généraux. Aspect au bord.* — Seules, les cinq premières raies de la série de Balmer, de H_α à H_ε , sont visibles dans le spectre du disque ⁽²⁾. Leur importance décroît irrégulièrement ⁽³⁾, à partir de H_α , la plus large et la mieux marquée (*Pl. I*, cases 2 à 5, p. 8). Elles possèdent, comme H_2 , K_2 et H_3 , K_3 , la propriété de dépasser la limite du spectre

⁽¹⁾ Voir, notamment, l'étude photométrique du spectre-éclair, faite en 1927 par E.-F. Carpenter [14].

⁽²⁾ Au moment où ce Mémoire est à l'impression, A. Unsöld annonce (*Zeit. für Physik*, t. 59, 1930, p. 353) que le microphotomètre permet de déceler des traces d'absorption jusqu'à H_{16} .

⁽³⁾ Les intensités de H_α , H_β , H_γ , H_δ , H_ε sont respectivement, d'après Rowland : 40, 30, 20, 40 et 5. L'intensité donnée à H_δ nous paraît fort exagérée. Cette raie est, en ångströms, environ deux fois plus étroite que H_α et rien, dans son apparence, ne suggère qu'on doive lui attribuer une importance égale.

continu, au bord solaire, indiquant ainsi que le gaz qui les produit a, de même que le calcium ionisé, un éclat encore notable à de grandes hauteurs au-dessus de la surface.

Les saillies des raies ont à peu près même aspect que celles de H et K : on y distingue une composante médiane en fer de lance bordée, jusqu'aux trois quarts de sa hauteur environ, par deux composantes beaucoup plus brillantes.

La largeur des saillies décroît du rouge vers le violet, parallèlement à l'importance des raies. Pour H_{α} , elle est beaucoup plus forte que pour le calcium ionisé. Alors que la plus grande largeur de K_3 , en effet, ne dépasse pas $0,4 \text{ \AA}$, celle de la composante médiane de H_{α} que, par analogie, nous nommerons H_{α_3} , atteint $1,2 \text{ \AA}$ (*Pl. I*, case 12, p. 8).

Les hauteurs des différentes raies paraissent aussi décroître, à partir de H_{α} . Mais, à notre connaissance, il n'existe aucune mesure qui permette d'en être certain et, *a fortiori*, de connaître la loi de la décroissance. Seule, la hauteur de H_{α_3} , mesurée régulièrement dans divers observatoires ⁽¹⁾, est connue avec une assez grande précision. Elle est, en moyenne, de 6500 km , ou $9'',7$, un peu plus forte, par conséquent, que celle de K_3 (§ 3).

Au delà de H_{α} , d'autres saillies apparaissent, dont les intervalles diminuent de plus en plus. Aucune raie ne leur correspond sur le disque. On a pu vérifier néanmoins qu'elles coïncidaient très exactement avec les raies suivantes de la série de Balmer. Les observations du spectre de la chromosphère, pendant les éclipses, ont permis d'identifier ainsi jusqu'à H_{38} . En temps ordinaire, à cause de la lumière diffuse du ciel, on ne peut guère reconnaître de saillie au delà de H_{18} .

Dans les protubérances, les raies de l'hydrogène se comportent comme les raies H et K.

Là s'arrêtent leurs analogies avec ces dernières. Sur le disque, les raies de l'hydrogène observables ont un aspect qui leur est propre. Nous allons en rappeler les principaux caractères.

6. *Aspect de la raie H_{α} sur le disque.* — Comme pour les raies H et K, il existe, même dans les plus récentes mesures au microphotomètre, des divergences notables dans l'appréciation de l'intensité au milieu de H_{α} . Pour H. von Klüber [19], elle est égale aux 35 centièmes de l'intensité du spectre continu voisin. A. Unsöld [20] lui attribue une proportion analogue. Par contre, M. Minnaert [5] trouve une valeur au moins deux fois plus faible (15 pour 100). Les causes de ce désaccord peuvent être purement

⁽¹⁾ En particulier, dans les Observatoires d'Arcetri, de Catania et de Madrid [18].

expérimentales. Elles peuvent tenir aussi à de réelles différences d'éclat de la raie dans les régions du disque choisies par les divers auteurs. Dans l'état actuel de la question, on peut dire seulement que l'intensité, au milieu de H_{α} , est notablement plus forte que sur H_{β} et K_{β} .

Les ailes, bien que peu marquées, sont très larges. Suivant M. Minnaert [5], leur action ne cesserait de se faire sentir qu'à $50 \text{ \AA}$ de part et d'autre du milieu de la raie. Mais déjà, à $5 \text{ \AA}$, l'absorption ne serait plus que de 10 pour 100.

La figure 2 donne une idée de la courbe d'intensité de la raie, dans une

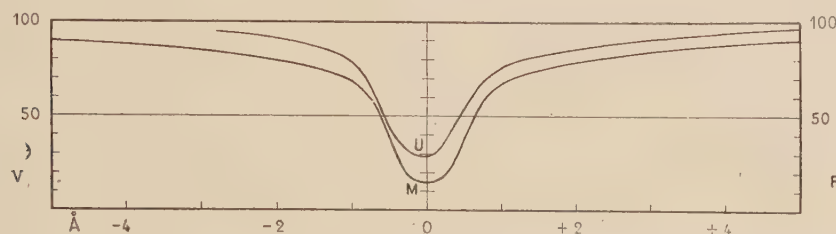


Fig. 2. — Courbe d'intensité de la raie H_{α} , sur une région du Soleil non perturbée et voisine du centre du disque, d'après les résultats obtenus au microphotomètre enregistreur par A. Unsöld (U) et par M. Minnaert (M).

région non perturbée voisine du centre du disque. Tous les observateurs y ont noté une dissymétrie, de même sens que dans la raie K. Cette dissymétrie apparaît bien sur le tracé de A. Unsöld. Elle ne peut être visible sur la courbe déduite des valeurs publiées par M. Minnaert, cet auteur n'ayant donné que la moyenne des intensités, prises symétriquement, de part et d'autre du milieu de la raie. Les deux régions de la courbe où la pente est maxima sont séparées par une distance d'environ $1 \text{ \AA}$. Cette valeur correspond à ce qu'on appelle habituellement la *largeur de la raie*, quand on l'observe à l'oculaire ou sur une photographie.

Dans ce Mémoire, nous nommerons souvent *partie médiane*, la largeur de la raie ainsi définie, afin d'éviter toute confusion avec la largeur totale, qui comprend aussi les ailes.

La partie médiane s'élargit progressivement, comme H_2 , K_2 et H_3 , K_3 , lorsqu'on approche du bord solaire. Au bord même, elle se raccorde exactement, sans discontinuité d'éclat, à la composante H_{α_3} . Les composantes brillantes que, toujours par analogie, nous nommerons H_{α_2} , bien marquées au delà du bord, pénètrent à peine à l'intérieur de celui-ci où leur éclat se confond bientôt avec celui du spectre continu.

Les variations de largeur accidentelles de la partie médiane, d'un point à l'autre du disque, sont très notables (*Pl. I*, casé 15, p. 8). D'une façon générale, elle est plus large dans les régions où les raies H et K sont plus brillantes [21].

A ces variations de largeur, sont liées des variations d'éclat. La raie est, en général, plus sombre là où elle est plus large. Aux points où les raies du calcium ionisé sont très brillantes, sur les facules en particulier, le phénomène est plus complexe. G.-E. Hale et F. Ellerman [22] le décrivent de la façon suivante : « Une raie brillante, simple ou multiple, apparaît souvent au dedans des limites de la raie sombre. Son aspect ressemble quelquefois à celui des raies H_2, K_2 et H_3, K_3 , la raie brillante étant partagée par une raie sombre centrale.... En d'autres régions, la raie brillante est divisée en un plus grand nombre de composantes dont l'écartement et la largeur sont variables. » Dans beaucoup de cas, cependant, il s'agit plutôt d'un renforcement diffus, non résoluble en composantes, que d'un véritable renversement (*Pl. I*, case 13, p. 8). Comme l'indiquent les auteurs américains, sa largeur est généralement inférieure à la largeur de la raie. Aucune augmentation d'éclat ne lui correspond dans les ailes.

Sur les taches, la raie H_x est affaiblie. Quelquefois, plutôt rarement, le renforcement brillant associé à la facule voisine s'y prolonge sous forme de raie fine.

L'assombrissement de la raie, sur les régions où se trouvent les protubérances, est très marqué; plus marqué peut-être que l'assombrissement correspondant de H_3, K_3 .

Dans les régions actives du Soleil, telles que les groupes de taches en formation, F. Ellerman [23] a signalé qu'il apparaît parfois des bandes brillantes, parallèles au spectre, très étroites et disposées symétriquement de part et d'autre de H_x , qu'elles ne traversent pas. Ces bandes, qui s'étendent souvent sur 8 Å, peuvent atteindre la longueur exceptionnelle de 30 Å. La durée du phénomène est éphémère : 1 à 10 minutes. Il a une tendance à se reproduire périodiquement au même point. Ellerman lui a donné le nom de « bombes ».

7. *Raies H_3, H_γ, H_δ .* — Leur aspect peut être résumé ainsi : elles présentent les mêmes caractères que H_x , mais à un degré moindre et de plus en plus faible, à partir de H_3 . En particulier, les renforcements d'éclat correspondant aux facules, déjà peu visibles sur cette raie, sont à peu près inexistants sur H_δ , sauf dans le cas de phénomènes éruptifs très intenses.

8. *Raie H_z .* — Cette raie, noyée dans l'aile très marquée de la raie H du calcium ionisé, est de trop petite importance pour que l'on puisse y discerner, s'ils existent encore d'une manière sensible, les caractères des raies précédentes. Cependant, G.-E. Hale et F. Ellerman [22] ont signalé que, sur les protubérances en projection sur le disque, H_z « habituellement

très faible dans le spectre solaire, apparaît comme une forte raie sombre ».

A notre connaissance, aucun spectrohéliogramme n'a jamais été obtenu avec cette raie.

9. *Interprétations.* — L'aspect des raies de la série de Balmer, extérieurement au bord solaire, suggère que l'hydrogène, comme le calcium ionisé offre, dans la chromosphère, des couches distinctes superposées, la plus élevée correspondant à la composante d'indice 3. Cette explication, cependant, paraît être en défaut sur le disque, où les composantes analogues à H_2 , K_2 sont invisibles. Mais il n'y a là sans doute qu'une apparence, due à la forme particulière de la courbe d'intensité des raies de l'hydrogène, très différente de celle des raies H et K. Considérons spécialement H_α où les diverses particularités s'observent le plus aisément. D'après ce que nous avons dit au paragraphe 6, c'est la partie médiane tout entière qu'il convient de nommer H_{α_3} sur le disque ⁽¹⁾. Dans ces conditions, les composantes brillantes, par suite de la faiblesse des ailes, n'ont pas, pour se détacher, le fond sombre qui favorise la visibilité de H_2 , K_2 , dans les raies du calcium ionisé. Elles demeurent ainsi noyées dans la région diffuse qui sépare les ailes de la partie médiane. Nous verrons plus loin que les résultats spectrohéliographiques confirment l'existence de composantes distinctes, dans la raie H_α .

H_{α_2} et H_{α_3} traversent le bord solaire sans discontinuité sensible d'éclat. On peut donc dire que l'hydrogène, celui produisant la raie rouge, tout au moins, est, comme le calcium ionisé, opaque à la lumière photosphérique au voisinage du bord. Dans les régions centrales de l'astre, il est difficile de se prononcer. La lumière photosphérique résiduelle, peut-être notable dans la raie H_β , est probablement tout à fait négligeable dans H_α .

La remarque, faite au paragraphe 6, que H_{α_3} est habituellement élargie aux points où le calcium ionisé est plus brillant, en particulier sur les facules, jointe à l'observation courante que H_{α_3} est également plus large sur les protubérances en projection où l'absorption est certainement plus forte, permettent, dans une certaine mesure, de déduire que l'hydrogène produisant la composante médiane absorbe davantage sur les facules. Mais il n'apparaît pas possible de préciser à quelle couche chromosphérique sous-jacente appartient la lumière ainsi absorbée.

⁽¹⁾ Certains auteurs ont cru reconnaître, dans les pseudo-renversements observés parfois à l'intérieur de H_α , la division en composantes, si nette sur les raies H et K. S'il en était ainsi, cependant, il paraîtrait difficile de concevoir la présence de composantes à l'intérieur de la raie sombre, sur le disque, alors que, au bord solaire, elles sont extérieures à cette raie.

Les largeurs comparées de H_{α_3} et de H_{β_3}, K_{β_3} montrent que la couche supérieure de l'hydrogène a une importance beaucoup plus grande que la couche correspondante du calcium ionisé. Par contre, la couche basse, qui produit les ailes, apparaît très faible. Ces faits sont à rapprocher de la visibilité différente des raies de la série de Balmer, suivant qu'on les observe sur le disque ou extérieurement au bord. Dans ce dernier cas, le rayon visuel atteint surtout les régions supérieures de la chromosphère : les raies d'ordre élevé apparaissent. Sur le disque, au contraire, où l'œil pénètre davantage dans les couches moyennes, seuls, les termes les plus importants de la série sont visibles. Déjà, en 1892, H. Deslandres [24] signalait que « le Soleil, qui est une étoile jaune, offre dans certaines parties de son atmosphère le rayonnement caractéristique des étoiles blanches ». On peut dire aujourd'hui d'une manière un peu différente que, dans les couches chromosphériques superposées, les conditions de production de la série de Balmer sont mieux réalisées pour les parties élevées du gaz.

III. — Raies de la couche renversante.

10. *Caractères généraux au bord.* — En dehors de quelques raies de l'hélium, en particulier de la raie jaune D_3 de cet élément ⁽¹⁾, les radiations étudiées jusqu'ici sont les seules, dans le spectre visible et l'ultraviolet, à présenter en permanence, au bord solaire, une saillie aisément décelable. Les autres raies paraissent limitées au bord même. Cependant, dans des conditions de calme atmosphérique exceptionnellement favorables, leur prolongement extérieur peut être observé et même photographié. C'est ainsi que G.-E. Hale [25], [26], en 1897, utilisant la grande image formée par le réfracteur de l'Observatoire Yerkes et un spectroscopie de dispersion moyenne dont il avait disposé la fente normalement au bord solaire, reconnut visuellement l'existence d'un grand nombre de raies brillantes, dépassant faiblement la limite du spectre continu. En 1909, le même auteur et ses collaborateurs, W.-S. Adams et Cora G. Burwell [27], [28], opérant au « Tower-Telescope » de 60 pieds du Mont Wilson, avec un spectrographe à fente tangente, beaucoup plus dispersif que le précédent, ont pu photographier plus de 1000 raies, entre $\lambda 4800 \text{ \AA}$ et $\lambda 5880 \text{ \AA}$. Les plus fortes présentent les caractères des raies de l'hydrogène; elles offrent,

⁽¹⁾ La raie D_3 se comporte à peu près comme les raies ultraviolettes de l'hydrogène : sa présence ne se traduit que par une saillie au bord, sans prolongement appréciable sur le disque. Elle apparaît assez souvent, cependant, comme raie d'absorption, dans les régions actives de l'astre, surtout au voisinage des taches.

autrement dit, une composante médiane sombre bordée de deux composantes brillantes. Le même aspect se retrouve, atténué, sur les raies moins importantes. Pour les auteurs, il doit être tout à fait général : quand on ne l'observe pas, c'est que les raies sont trop faibles ou que le pouvoir séparateur du spectrographe est insuffisant. Hale et ses collaborateurs n'ont pas précisé le niveau auquel s'élevaient les raies photographiées. Ils estiment seulement qu'il est inférieur à celui que l'on peut déterminer pendant les éclipses, d'après la longueur des croissants du spectre-éclair.

Ces observations se rapportent à des points du bord solaire éloignés de toute protubérance. La présence de celles-ci n'apporte pas, en général, de grands changements aux aspects décrits ci-dessus : les protubérances du type *quiescent*, qui sont les plus nombreuses, n'offrent d'autres raies que celles du calcium ionisé, de l'hydrogène et de l'hélium. C'est seulement dans les protubérances éruptives, dites « métalliques », qu'apparaissent les raies des vapeurs basses. Elles présentent alors un aspect analogue à celui des raies des éléments précités, dans les protubérances quiescentes.

11. *Caractères généraux sur le disque.* — Les raies fortes de la couche renversante sont habituellement composées d'une partie médiane étroite, assez bien délimitée, et d'ailes plus ou moins marquées ; les raies faibles se réduisent à leur partie médiane (*Pl. I*, cases 6 à 9, p. 8). L.-E. Jewell a annoncé, en 1896 [12], que la plupart des raies possédaient, aux lisières de la partie médiane, de légers renforcements brillants, analogues à ceux des raies H et K du calcium ionisé. Ces renforcements, s'ils existent réellement, doivent être très faibles. Ils n'ont jamais été signalés depuis et ne se retrouvent pas sur les tracés microphotométriques.

L'échelle de Rowland, qui définit les *intensités* des raies, s'applique globalement aux parties médianes et aux ailes. Au-dessous de l'intensité 8, les ailes sont, en général, à peu près inexistantes : l'échelle caractérise la *largeur de la partie médiane*. A partir de 8, les ailes commencent à apparaître ; par contre, la largeur de la partie médiane n'augmente plus de façon régulière et, de 8 à 30, reste comprise entre 0,1 Å et 0,2 Å : les intensités se rapportent surtout à l'*importance des ailes*.

En fait, un seul nombre est insuffisant pour définir l'aspect complexe d'une raie. M. Minnaert [5] recommande de prendre l'aire de la courbe d'intensité comme mesure de cette intensité et d'exprimer la perte d'énergie lumineuse en fonction de l'énergie de un ångström du spectre continu voisin. D'autres auteurs ⁽¹⁾ donnent, pour chaque raie, deux quantités :

(1) En particulier, H. von Klüber [19].

l'intensité en son milieu et la distance, en ångströms, des deux points de la courbe dont l'ordonnée est la moyenne arithmétique entre l'intensité au milieu de la raie et celle du spectre continu. Ces diverses valeurs ne sont encore connues que pour un petit nombre de raies. Mais, de divers côtés, leur recherche est poursuivie et l'on peut penser qu'elles seront bientôt déterminées pour toutes les raies importantes du spectre.

L'intensité au milieu des raies varie avec la longueur d'onde et aussi, pour des longueurs d'onde voisines, d'une raie à l'autre. Dans certains cas, elle paraît inférieure au dixième de l'intensité du spectre continu; dans d'autres, elle dépasse 30 pour 100. La forme de la courbe d'intensité dépend, de plus, de l'importance des ailes. La figure 3 reproduit, d'après

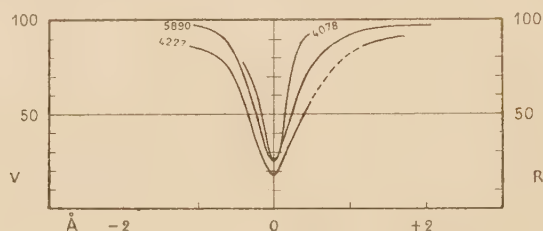


Fig. 3. — Courbes d'intensité des raies Ca 4227, Na 5890 et Sr II 4078, sur une région du Soleil non perturbée et voisine du centre du disque, d'après les résultats obtenus au microphotomètre enregistreur par A. Unsöld.

A. Unsöld, les courbes, sur une région du Soleil non perturbée et voisine du centre du disque, de trois raies d'importances différentes :

Ca 4226,742	Intensité de Rowland, 20	Ailes très fortes.
Na 5889,977	» 30	» moyennes.
Sr II 4077,726	» 8	» faibles.

On discerne mal, sur ces courbes, adoucies par le relevé au microphotomètre, les limites des parties médianes. Les largeurs de celles-ci, mesurées directement, sont respectivement $0,13 \text{ \AA}$, $0,25 \text{ \AA}$ et $0,13 \text{ \AA}$ environ.

La raie du strontium ionisé offre une dissymétrie de même sens que celle, déjà reconnue, dans les raies K et H_{α} .

L'aspect des raies de la couche renversante, aux différents points du disque solaire, est beaucoup plus uniforme que celui des raies étudiées précédemment. Lorsque les ailes sont assez marquées, elles présentent des différences d'éclat très analogues aux différences déjà notées dans les ailes des raies H et K. On y distingue nettement, en particulier, les renforcements correspondant aux facules. Mais, alors que, dans les raies du calcium ionisé, les composantes H_2 , K_2 et H_3 , K_3 subissent, sur les mêmes régions, des renforcements beaucoup plus intenses, ceux-ci paraissent limités aux

ailes, pour les raies des vapeurs basses et ne pas affecter leur partie médiane d'une façon sensible [29]. Il faut de véritables éruptions solaires pour que l'éclat, au milieu de certaines raies, soit nettement modifié et subisse un renforcement d'aspect diffus, analogue à celui de la raie de l'hydrogène H_α sur les facules.

Sur les taches, l'intensité des raies est, en moyenne, diminuée dans la même proportion que l'intensité du spectre continu. Mais, indépendamment de cet affaiblissement général, les raies montrent des variations relatives d'éclat et de largeur, des déplacements, des dédoublements, etc., extrêmement complexes. Nous nous bornons à signaler ici ces particularités. Leur étude méthodique a conduit, comme on sait, à d'importants résultats. Elle a permis, en particulier, à G.-E. Hale de reconnaître l'existence d'un champ magnétique dans les taches et à J. Evershed de déceler des courants radiaux dans les vapeurs, au-dessus de ces mêmes objets.

Sur les protubérances en projection, l'aspect des raies de la couche renversante ne paraît subir aucune modification.

L'éclat de la partie médiane diminue, du centre du disque vers le bord. Mais il ne diminue pas de la même façon pour toutes les raies de sorte que, lorsque l'on compare directement les spectres du centre et du bord, obtenus avec des poses telles que l'intensité du fond y soit la même, certaines raies paraissent affaiblies et d'autres renforcées. Toutefois, les différences observées sont assez faibles. Ce qui donne au spectre du bord son caractère le plus frappant [30], c'est la disparition presque complète des ailes, que nous avons déjà signalée (§ 2) à propos des raies H et K.

La largeur de la partie médiane ne paraît pas varier de manière bien sensible sur les régions perturbées du disque (*voir* § 59). Par contre, elle s'accroît progressivement au voisinage du bord. Mais l'élargissement, variable d'une raie à l'autre, est beaucoup moins marqué que celui des raies de niveaux élevés. Suivant H. Buisson et C. Fabry [31], qui en ont fait l'étude à l'interféromètre, sa valeur moyenne, pour les raies d'intensité 1 à 8, serait seulement de 0,01 Å. Il est probablement plus fort pour les raies plus importantes.

12. *Déplacement des raies vers le rouge du spectre.* — Ce déplacement, dont la réalité a été longtemps discutée, est maintenant hors de doute. On sait qu'il est variable avec l'intensité des raies et que, au voisinage immédiat du bord, il devient plus marqué (effet de bord). C.-E. Saint-John [32], [33], qui l'a minutieusement étudié, le rapporte à trois causes distinctes :

1^o Le ralentissement de « l'horloge atomique » prédit par la théorie de la relativité généralisée d'Einstein;

2^o Les mouvements verticaux des vapeurs productrices des raies ou toute condition dont les effets seraient équivalents à ceux de mouvements verticaux;

3^o La diffusion moléculaire par les vapeurs.

La première cause produit le déplacement général des raies sur tout le disque.

La deuxième explique pourquoi les déplacements, au centre de celui-ci, diffèrent avec l'intensité des raies. D'après Saint-John, en effet, les raies les plus intenses sont celles dont le niveau est le plus élevé. Or, après correction de l'effet Einstein, elles sont les plus déplacées vers le rouge, pendant que les raies faibles sont déplacées vers le violet. Les déplacements sont, de plus, proportionnels aux longueurs d'onde. Enfin, ils sont maxima au centre du disque et tendent à s'annuler vers le bord. Ces caractères sont bien ceux d'un effet Doppler-Fizeau correspondant à des mouvements de descente des vapeurs élevées et d'ascension des vapeurs basses. On peut, il est vrai, admettre également, avec E.-A. Milne [34] et Z.-A. Merfield [35], que les déplacements vers le rouge, pour les raies de niveaux élevés, sont dus au nombre plus grand d'atomes absorbant de ce côté des raies, les atomes qui absorberaient normalement sur le côté violet s'étant échappés par suite des grandes vitesses acquises au cours des émissions et des absorptions successives.

Enfin, la troisième cause rend compte de « l'effet de bord ». La diffusion moléculaire introduit une dissymétrie qui tend à déplacer les raies vers le rouge. Or, la diffusion est évidemment d'autant plus forte que l'épaisseur de vapeur traversée est plus grande. Son effet doit donc se faire sentir plus fortement au voisinage immédiat du bord solaire où les rayons issus des parties basses de la chromosphère traversent une couche de vapeur d'épaisseur rapidement croissante.

A. Unsöld [13] a discuté récemment l'hypothèse de Saint-John sur le niveau des raies. Il ne conteste pas la réalité des courants verticaux. Mais il ne lui semble pas nécessaire de supposer que les raies faibles prennent naissance aux niveaux inférieurs de la chromosphère et les raies intenses aux niveaux élevés. Pour lui, le milieu de toutes les raies, qui correspond au minimum d'intensité, est produit dans les couches hautes et les bords dans les couches basses. L'effet Doppler-Fizeau, dû aux courants verticaux, introduit ainsi une dissymétrie qui tend à déplacer, relativement, le milieu vers le rouge. Lorsque la raie est étroite, l'œil, influencé par les

bords, pointe à égale distance de ceux-ci. Au contraire, si elle est large, c'est le minimum d'intensité que l'on mesure. La diversité des déplacements tiendrait donc, non pas aux niveaux différents de production des raies, mais à l'appréciation variable de leurs dissymétries, suivant qu'elles sont étroites ou larges.



CHAPITRE I.

STRUCTURES CHROMOSPHÉRIQUES OBSERVÉES JUSQU'ICI AU SPECTROHÉLIOGRAPHE.

I. — Images données par les raies H et K du calcium ionisé.

13. *Considérations générales.* — Nous supposons que le spectrohéliographe avec lequel les images sont obtenues possède une dispersion linéaire et un pouvoir de résolution suffisants pour que les composantes médianes, définies au paragraphe 2, soient isolées séparément dans la fente sélectrice.

Jusqu'en 1908 ⁽¹⁾, les instruments employés avaient toujours isolé l'ensemble de ces composantes et les images offraient un mélange des couches moyenne et supérieure où la couche moyenne, plus brillante, était prépondérante. A cette époque, la mise en service, à Meudon, d'un grand spectrohéliographe, dont la dispersion linéaire, pour la région H et K, était de 0,7 Å au millimètre, a permis à H. Deslandres et à moi-même [37] de réaliser la séparation nette entre K_2 et K_3 et de mettre en évidence les caractères spéciaux aux deux couches de vapeur correspondantes.

La largeur de la fente sélectrice était notablement inférieure à celle de la composante à isoler ⁽²⁾. Cette condition est nécessaire pour que les images ne contiennent aucune lumière appartenant aux composantes voisines. Encore ne sont-elles jamais formées avec toute la lumière intéressante. Nous avons vu, en effet, que H_2, K_2 et H_3, K_3 ont une largeur très variable aux différents points du disque et que leur position dans le spectre, par suite des effets Doppler-Fizeau dus aux mouvements locaux de la vapeur ou à la rotation de l'astre, n'est pas non plus rigoureusement fixe. La fente ne peut ainsi isoler, dans les différentes régions de l'image, ni la même proportion, ni la même partie d'une composante donnée. C'est là un défaut inhérent au spectrohéliographe, signalé autrefois par H. Deslandres [38]

⁽¹⁾ Le premier spectrohéliogramme avec la raie K a été obtenu par G.-E. Hale, à l'Observatoire Kenwood, en 1891 [36].

⁽²⁾ Elle a été, en certains cas, inférieure à 0,03 Å, alors que la largeur moyenne de K_3 est d'environ 0,15 Å.

qui, pour y remédier, a proposé d'employer en même temps le spectro-enregistreur des vitesses; le premier instrument donnant les formes des vapeurs pendant que le second permet de reconnaître l'aspect et la position de la composante utilisée sur les régions du Soleil correspondantes ⁽¹⁾.

Comme nous l'avons déjà fait pour la description des caractères des deux raies, nous ne nous occuperons, dans les paragraphes suivants, que des images données par la raie K, à peu près identiques à celles que fournit la raie H ⁽²⁾.

14. *Images K₃, K₂, K₁.* — Quand on examine une série de spectrohéliogrammes obtenus en donnant à la fente sélectrice des positions successives assez rapprochées pour qu'aucune partie de la raie n'échappe à l'exploration, on constate que les caractères généraux de la structure des images restent sensiblement les mêmes; seuls, l'éclat et l'étendue des détails subissent d'importants changements. L'aspect de la raie permettait d'ailleurs, dans une certaine mesure, de prévoir ce résultat.

Nous ne donnerons pas ici la description détaillée de ces images, description qui, d'ailleurs, a souvent été faite ⁽³⁾. Nous nous bornerons à examiner celles de leurs particularités qui se rapportent plus spécialement à l'objet de ce Mémoire et à préciser la terminologie, souvent variable avec les auteurs.

Pour faciliter l'exposé, nous avons reproduit, dans les cases 1 et 2 de la planche II et dans la case 1 de la planche III, p. 24, trois images, obtenues à Meudon le même jour, avec des positions différentes de la fente :

La première, au milieu même de la raie (image K₃);

La seconde, à $-0,25 \text{ \AA}$ du milieu de la raie (image K₂) ⁽⁴⁾;

⁽¹⁾ Cette méthode est spécialement applicable aux raies H et K, dans lesquelles les variations de largeur et d'éclat, aux différents points du disque, sont très marquées et apparaissent aisément sur les photographies spectrales. Mais, pour la plupart des autres raies, ces variations sont, le plus souvent, si peu sensibles, que la structure des images ne peut être reconnue qu'à l'aide du procédé d'intégration, si efficace pour mettre en évidence les détails les plus faiblement contrastés.

⁽²⁾ Dans ses recherches avec le « Rumford Spectroheliograph » (Yerkes), G.-E. Hale utilisait de préférence la raie H, moins réfrangible et, par suite, plus facile à isoler visuellement dans la fente sélectrice. Mais les réglages visuels, dans une région du spectre où l'œil est peu sensible, n'ont pas une précision suffisante avec la grande dispersion considérée ici. Il est alors préférable d'employer la raie K pour les raisons exposées paragraphe 2.

⁽³⁾ Voir, en particulier, H. DESLANDRES, *Recherches sur l'atmosphère solaire*, t. 4, 1^{re} partie, des *Annales de Meudon*, déjà cité.

⁽⁴⁾ Dans ce Mémoire, la distance entre la fente et le milieu des raies sera toujours affectée du signe +, quand la fente aura été placée du côté des grandes longueurs d'onde.

La troisième, à $-1,27 \text{ \AA}$ du milieu de la raie, dans l'aile (image K_{1v}).

L'appareil employé est moins puissant que celui des premières recherches, en 1908. Il est assez dispersif, néanmoins (fente sélectrice de $0,15 \text{ \AA}$) pour donner des images pures, ou presque pures, des diverses couches de vapeur.

Essentiellement, la structure des trois images consiste en un réseau serré de petites taches brillantes qui, en diverses régions, prennent un éclat très vif et se réunissent en masses plus ou moins compactes, plus ou moins étendues. On a souvent appelé *flocculi* ⁽¹⁾, indistinctement, les masses compactes et les taches isolées. Cependant, alors que celles-ci sont visibles sur tout le disque, les plages brillantes n'apparaissent guère que dans les *zones royales*. Elles ont, chaque fois que la comparaison directe peut être effectuée, mêmes formes générales et mêmes positions que les facules, sans cependant s'identifier tout à fait avec celles-ci. H. Deslandres leur a donné le nom de *plages faculaires*, réservant le terme *flocculi* pour les petites taches isolées. C'est cette terminologie que nous adopterons ici.

L'éclat relatif des plages faculaires et des flocculi diminue progressivement quand la fente sélectrice du spectrohéliographe est placée à des distances de plus en plus grandes du milieu de la raie. De K_3 à K_2 , la variation est lente. Elle devient très rapide au passage de K_2 à K_1 , pour se ralentir à nouveau dans l'aile K_1 . Les images traduisent fidèlement les aspects variés des diverses composantes décrits au paragraphe 2.

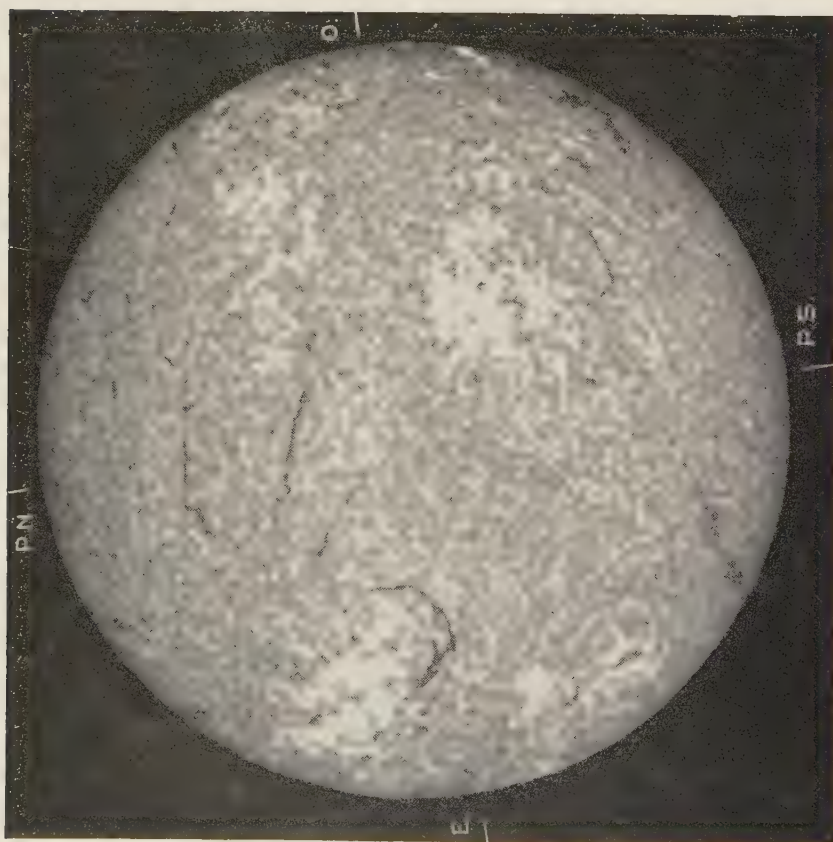
Elles montrent même, mieux que ne peut le faire le seul examen de la raie, que les dimensions des flocculi et des plages décroissent avec leur éclat. Parallèlement, leurs contours deviennent moins diffus.

Le fond des images K_3 , K_2 , K_1 s'assombrit au voisinage du bord sans que l'éclat des plages et des flocculi paraisse varier sensiblement. L'assombrissement du fond est, toutefois, beaucoup moins marqué que sur les photographies directes de la surface, faites avec une lunette astronomique ordinaire. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Saint-John, à l'aide de mesures photométriques sur les composantes médianes.

La dissymétrie observée entre K_{2v} et K_{2u} paraît être sans effet appréciable sur l'aspect des images données par l'une ou l'autre de ces composantes.

Notons, pour mémoire, que les plages faculaires, liées aux facules, subissent, comme celles-ci, les effets de la variation périodique de l'activité solaire. Petites et rares, ou même absentes au moment du minimum, elles

⁽¹⁾ Ce terme a été proposé par G.-E. Hale [15].



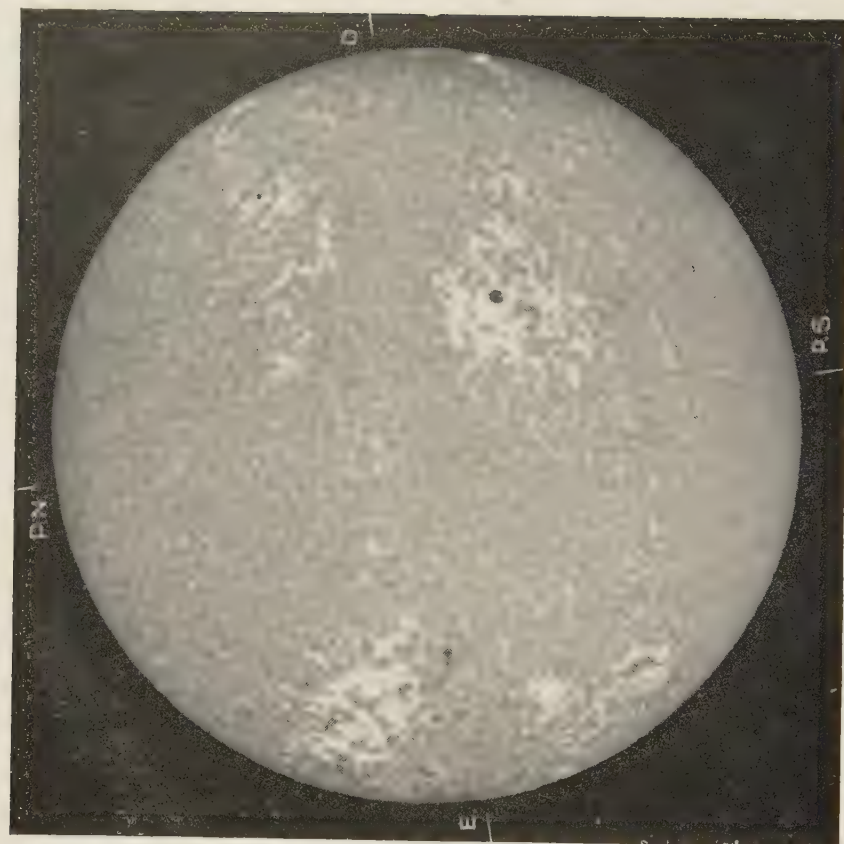
1. — Couche supérieure du calcium ionisé,
image K_2 .

Le 20 juillet 1927, de 6^h 56^m à 7^h 0^m (T. 1.).

Pour les deux images

) Largeur de la 1^{re} fente = 0^{mm}, 44.

) Largeur de la fente² sélectrice = 0^{mm}, 09 = 0,13 λ .

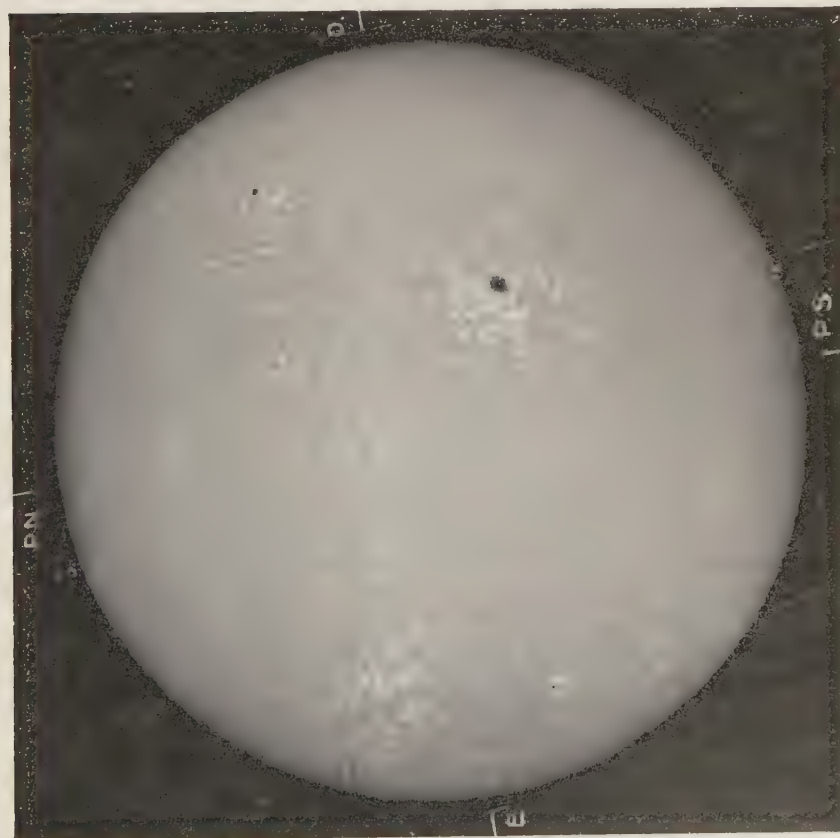
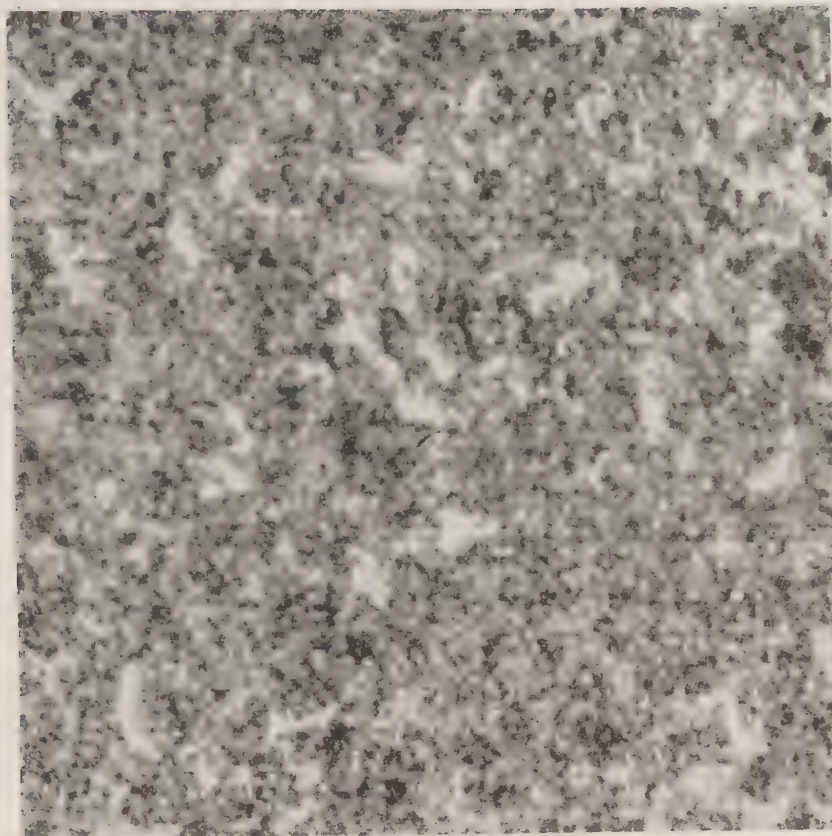


2. — Couche moyenne du calcium ionisé,
image K_2 , à — 0,25 $\text{\AA}$ du milieu de la raie.

Le 20 juillet 1927, de 6^h 10^m à 6^h 20^m (T. 1.).

) Largeur de la 1^{re} fente = 0^{mm}, 44.

) Largeur de la fente² sélectrice = 0^{mm}, 09 = 0,13 λ .

1. — Image $K_{1,2}$,à $1,27 \text{ \AA}$ du milieu de la raie.Le 29 juillet 1927, de $6^h 3^m$ à $6^h 9^m$ (T. U.).Largeur de la 1^{re} fente = 0,04Largeur de la fente sélectrice = $0,000,09 = 0,15 \text{ \AA}$.2. — Portion agrandie d'une image $K_{2,2,2}$

obtenue le 29 août 1910, avec le petit spectrohéliographe de Meudon.

Largeur de la 1^{re} fente = $0,000,02$.Largeur de la fente sélectrice = $0,000,05 = 0,1 \text{ \AA}$.

deviennent nombreuses et étendues aux époques de maximum. Elles forment alors parfois une suite ininterrompue d'un bord du disque à l'autre, le long des zones royales, qu'elles dessinent remarquablement.

Quant au réseau de flocculi, son aspect et son éclat ne paraissent pas changer d'une manière sensible entre le minimum et le maximum.

15. *Caractères spéciaux à l'image K_3 .* — Les spectrohéliogrammes, obtenus avec la composante K_3 , très analogues, comme structure générale, à ceux données par K_2 , s'en distinguent néanmoins par l'apparition de phénomènes nouveaux.

Les plus remarquables sont, au bord, les protubérances et, sur le disque, des objets sombres que leur forme particulière (*Pl. II*, case 1, p. 24) a fait nommer *filaments* par H. Deslandres ⁽¹⁾.

On admet généralement aujourd'hui que les filaments, sur lesquels s'observent les assombrissements anormaux de K_3 signalés au paragraphe 2, décèlent, comme nous l'avons indiqué au même paragraphe, le passage sur le disque des protubérances ou, tout au moins, de leurs parties les plus denses.

L'étude des formes, de la fréquence, de la distribution des protubérances et de leurs marques d'absorption, les filaments, a fait l'objet de très nombreux travaux. Nous n'y insisterons pas, leur examen étant en dehors du cadre de notre travail.

Un autre caractère, particulier aux images K_3 , est la présence fréquente, autour des plages faculaires, de zones légèrement plus sombres que le fond et que H. Deslandres a nommées *circumfacules*. Ces zones correspondent aux régions, notées aussi au paragraphe 2, où la composante K_3 , en général étroite sur les facules, apparaît anormalement élargie.

16. *Aspect des taches sur les diverses images.* — L'aspect des taches subit d'importantes modifications lorsque l'on passe de l'image K_1 à l'image K_3 . Sur K_1 , il est à peu près le même que sur les photographies directes de la surface : l'ombre et la pénombre se distinguent nettement de la plage faculaire qui les accompagne. Sur K_3 , la pénombre est généralement masquée par la plage qui empiète sur elle; l'ombre reste visible, parfois traversée

⁽¹⁾ J. Evershed a donné à ces objets le nom d'« *absorption markings* ». G.-E. Hale les appelle *Dark Flocculi* ou *Long Dark Flocculi*. Il semble toutefois que le mot *Flocculi*, étendu à des objets de nature et d'aspect très différents de ceux des flocculi considérés précédemment, ne soit pas le mieux approprié. Dans ce Mémoire, où il n'en sera d'ailleurs que très rarement question, nous conservons le terme *filaments*, adopté par H. Deslandres.

par des ponts brillants, inexistants sur l'image K_1 . Enfin, sur K_3 , l'ombre elle-même est souvent recouverte, totalement ou en partie.

17. *Correspondance entre la structure de la surface et celle des images du calcium ionisé.* — Au premier examen, il semble que les deux structures ne présentent d'autre similitude que l'accord entre les formes générales des facules et des plages faculaires. Les flocculi et la granulation photosphérique n'ont aucune ressemblance. Les premiers, en effet, constituent une sorte de réseau dans lequel les parties brillantes n'occupent qu'une faible étendue par rapport aux parties sombres. Au contraire, les grains photosphériques, sensiblement circulaires, ne laissent entre eux que des intervalles assez faibles. De plus, alors que la largeur des mailles du réseau de flocculi est de l'ordre de la minute d'arc, le diamètre moyen des « grains de riz » est plutôt voisin de la seconde.

Cependant, quand les spectrohéliogrammes sont obtenus dans les conditions les meilleures de calme atmosphérique, il est possible de discerner une subdivision dans les flocculi. Ceux-ci apparaissent alors constitués par un grand nombre de grains beaucoup plus petits et de forme à peu près circulaire, comme les grains de la surface. Entre les mailles du réseau, le fond de l'image lui-même qui, habituellement, semble uniforme, révèle une structure granulaire analogue (*Pl. III*, case 2, p. 24).

Cette subdivision avait été soupçonnée en 1898 par H. Deslandres [39] qui s'est demandé s'il n'y aurait pas correspondance entre les grains chromosphériques et ceux de la surface. Elle a été précisée par G.-E. Hale et F. Ellerman [15], en 1903, à l'Observatoire Yerkes. Ces observateurs ont pu mesurer les diamètres des grains chromosphériques (K_2) sur les belles épreuves obtenues avec le « Rumford Spectroheliograph ». Ils les ont trouvés compris entre une fraction de seconde et plusieurs secondes d'arc, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que les grains de riz. La correspondance grain à grain n'a pas été établie, mais il est vraisemblable d'admettre qu'elle existe réellement.

18. *Origine des plages faculaires et des flocculi.* — On sait que, sur les photographies directes du Soleil, la présence des facules, au centre du disque, ne se révèle que par un très léger renforcement d'éclat, sans contours bien nets. Lorsque la rotation de l'astre les déplace du centre au bord, le contraste croît peu à peu et au voisinage du bord même, elles sont distinctement visibles. Leur éclat n'a pas, pour cela, augmenté. C'est le fond général de l'image qui s'est assombri. D'autre part, les photographies à grande échelle obtenues par J. Janssen, S. Chevalier, etc., ont montré

que les facules possèdent la même structure granulaire que les autres parties du disque.

Ces particularités les font généralement considérer comme de simples soulèvements de la photosphère, d'éclat à peu près égal à celui des parties voisines. Si elles étaient plus brillantes, en effet, on comprendrait mal pourquoi elles sont à peu près invisibles au centre du disque. D'autre part, une légère élévation au-dessus du niveau général explique bien qu'elles échappent à l'action absorbante de l'enveloppe gazeuse entourant le Soleil, qui est responsable de l'assombrissement du bord où elle est vue, par l'observateur terrestre, sous une épaisseur apparente beaucoup plus grande.

Ainsi, la vapeur de calcium ionisé atteindrait son plus grand éclat au-dessus des régions les plus élevées de la surface solaire.

Cette propriété a été signalée en 1893 par H. Deslandres [16] qui, à cette époque, l'a attribuée à la nature particulière de l'illumination des vapeurs chromosphériques. Selon lui cette illumination ne peut être due à la température seule : elle a une origine électrique (voir § 4). Or, sur la Terre, les phénomènes électriques sont plus intenses au-dessus des montagnes. Il n'est pas impossible d'admettre que, sur le Soleil, les choses se passent de la même façon, d'où le maximum d'intensité du calcium ionisé au-dessus des facules.

G.-E. Hale et F. Ellerman, s'appuyant sur la correspondance remarquable observée par eux entre les grains chromosphériques et les grains de riz, ont proposé, en 1903, « l'hypothèse de travail » suivante [15] : des colonnes de vapeur de calcium s'élèvent au-dessus des colonnes de vapeurs condensées dont les grains photosphériques sont les sommets. A mesure qu'elles s'élèvent, elles s'épanouissent, d'où l'étendue croissante occupée par les sections des colonnes, faites à des niveaux de plus en plus élevés par le spectro-héliographe, quand la fente de l'instrument isole des parties de la raie de plus en plus voisines du milieu de celle-ci.

Dans l'interprétation de Deslandres, l'épanouissement serait plutôt dû à une diffusion du phénomène provoquant l'illumination, diffusion d'autant plus importante que l'on est plus éloigné de la cause qui la produit.

Plus tard [40], Hale et Ellerman ont quelque peu modifié leur hypothèse. Ils ont admis que, au sommet des grains, la température pouvait être trop élevée pour que les vapeurs s'y condensent. Celles-ci se trouveraient seulement dans des conditions telles qu'elles émettraient un spectre continu. De plus, il pourrait ne pas y avoir de véritables colonnes de vapeur de calcium au-dessus des grains, mais simplement des régions où la radiation des raies H et K surpasserait celle des régions voisines.

De ce qui précède, et quel que soit le mécanisme invoqué pour rendre compte de leur éclat, il résulte que les plages faculaires et les grains chromosphériques de K_2 et K_3 sont en accord étroit avec les régions de la surface qui manifestent un excès de rayonnement. Seul, le réseau de flocculi paraît ne correspondre à aucun détail de la photosphère. Il semble, cependant, qu'on puisse admettre, par analogie, qu'il se rattache à un réseau de petites éminences, plus faibles que les facules et, pour cette raison, invisibles par l'observation directe. Ainsi, tous les détails brillants, visibles sur les images des couches supérieure et moyenne du calcium ionisé, ne seraient que la reproduction, amplifiée, des maxima du rayonnement à la surface de l'astre.

19. *Réserve sur l'origine des plages faculaires et des flocculi dans les images H_1 , K_1 .* — Il a été admis implicitement, dans ce qui précède, que les plages et flocculi observés sur les images étaient, à tous les niveaux considérés, uniquement dus à l'illumination de la vapeur de calcium ionisé. Cependant, comme nous l'avons fait remarquer (§ 4), l'absorption, par les parties de K_1 éloignées du milieu de la raie, est certainement très incomplète et la lumière photosphérique peut intervenir dans la production des détails observés. G.-E. Hale et F. Ellerman [15] ont, les premiers, examiné le cas où le niveau des facules serait plus élevé que celui où sont formées les ailes H_1 , K_1 . Le fond de l'image étant affaibli par l'absorption sélective, les facules pourraient y apparaître, par effet de contraste, même au centre du disque. Elles apparaîtraient même avec une intensité relative d'autant plus grande, que la fente serait plus voisine des composantes médianes, ce qui est conforme à l'observation. Mais leur étendue ne devrait pas changer. Or, nous avons vu qu'elle ne cessait de croître quand diminuait la distance de la fente au milieu de la raie. Les astronomes américains, s'appuyant sur cette constatation, estiment que leur hypothèse de travail est mieux en accord avec les faits et que les images H_1 , K_1 , jusqu'à 5 ou 6 Å de H_3 , K_3 , tout au moins, représentent réellement l'aspect d'une couche basse de calcium ionisé, de niveau décroissant vers l'extrémité des ailes.

Toute objection n'est pas écartée cependant. J. Evershed a remarqué [41] que, si l'émission de la vapeur s'étendait d'une façon appréciable dans les ailes, celles-ci devraient montrer, sur les facules, de réels renversements. Or, les renversements observés paraissent étroitement limités aux composantes médianes sauf, peut-être, dans les cas très rares où se produisent de véritables éruptions. H_1 , K_1 ne montrent, en général, qu'un très léger renforcement d'éclat, qui semble bien correspondre au spectre continu des facules. Evershed en conclut que ce sont plus probablement

ces objets eux-mêmes que révèlent les spectrohéliogrammes obtenus avec H_1 , K_1 . Le changement de forme, au voisinage des composantes médianes, pourrait provenir d'une réflexion partielle de la lumière de ces composantes sur les parois polies de la fente sélectrice.

Entre ces opinions extrêmes, P. Fox [42] a proposé une hypothèse intermédiaire. Cet observateur, opérant après Hale et Ellerman au Rumford Spectroheliograph de Yerkes, a cherché à délimiter les régions de H_1 où apparaissent le plus clairement des changements de caractères dans les images. A $16 \text{ \AA}$ du milieu de la raie, les clichés sont semblables aux photographies directes de la surface : plages brillantes à peine discernables au centre du disque, bien distinctes vers les bords. A $6,4 \text{ \AA}$, c'est-à-dire, à peu près à mi-distance entre l'extrémité de l'aile et H_3 , les plages brillantes sont devenues nettement visibles au centre du disque. Leur forme paraît identique à celles des facules. De $6,4 \text{ \AA}$ à $3,1 \text{ \AA}$, aucun changement de forme n'est observé. De $3,1 \text{ \AA}$ au milieu de la raie, des changements de forme, d'étendue et d'éclat relatif se manifestent progressivement ; ils sont d'abord lents, puis rapides. De ces résultats, l'auteur déduit que la distance $3,1 \text{ \AA}$ marque la limite de deux zones dans lesquelles les phénomènes observés sont différents. Dans la zone intérieure, le calcium a la prépondérance. Extérieurement, au contraire, ce sont les facules, dont le spectre continu se superpose à l'aile, qui sont photographiées avec le spectrohéliographe.

II. — Images données par les raies de l'hydrogène.

20. *Images données par les différentes parties de la raie H_α .* — Nous avons vu plus haut (§ 6), que, sur le disque, la raie H_α ne montre pas, en général, de composantes distinctes. Il paraît donc difficile, *a priori*, de déterminer la dispersion la plus convenable pour obtenir, bien séparées, les images différentes que peuvent donner les diverses parties de la raie.

Cependant, nous avons admis provisoirement, au paragraphe 9, que, d'après leur aspect au bord, les composantes H_{α_2} sur le disque, doivent se situer dans les régions diffuses formant les lisières ⁽¹⁾ de la raie. Or, ces régions sont très étroites — $0,14 \text{ \AA}$ en moyenne, d'après Rowland [2] — et, à défaut d'autre indication, cette valeur fixe une limite supérieure à la

⁽¹⁾ Nous emploierons souvent le mot *lisières* pour désigner les bords de la partie médiane des raies.

largeur, en ångströms, de la fente sélectrice. Il faut, pour que celle-ci ne soit pas par trop fine, un spectrohéliographe très dispersif ⁽¹⁾.

En fait, c'est avec le grand instrument de Meudon, déjà employé avec succès pour séparer l'image K_3 de l'image K_2 et adapté, en 1909, à la photographie de la raie rouge de l'hydrogène, que nous avons pu, H. Deslandres et moi-même [44], enregistrer pour la première fois les trois structures distinctes, reconnues actuellement dans les images H_α . La fente sélectrice était large de 0,12 à 0,16 Å. Déplacée d'abord de quantités égales à sa largeur pour qu'aucune partie de la raie n'échappe à l'exploration, il a été reconnu ensuite que les caractères spéciaux à chaque structure atteignaient leur visibilité maxima quand elle était placée respectivement au milieu de la raie, à 0,25 Å de celui-ci et, enfin, à 0,50 Å ⁽²⁾.

Dans les planches IV et V (p. 32), sont reproduites : d'une part, les images obtenues dans ces conditions, et, d'autre part, une image K_3 , faite au même jour d'observation. On remarque : 1° que les épreuves de l'hydrogène présentent entre elles des différences beaucoup plus grandes que les images K_3 , K_2 , K_1 ; 2° qu'elles n'ont, avec ces dernières, qu'un petit nombre de caractères communs.

Insistons seulement, comme nous l'avons fait déjà pour le calcium ionisé, sur celles de leurs particularités qui intéressent spécialement l'objet du présent Mémoire ⁽³⁾.

L'image donnée par le milieu de la raie correspond évidemment à la couche supérieure de l'hydrogène. On y retrouve des plages faculaires brillantes, analogues, par leur éclat relatif, aux plages de K_3 , mais réduites, quant à leurs formes générales, aux arêtes de celles-ci. Les protubérances, au bord et leurs « marques d'absorption » sur le disque, les filaments, y apparaissent avec netteté. Dans l'ensemble, leur aspect est le même que sur les images du calcium ionisé.

Là se bornent les analogies entre les couches supérieures des deux éléments. En effet, le fond de l'image de l'hydrogène apparaît, à première vue, assez uniforme. Un examen plus attentif révèle, toutefois, la présence d'une faible granulation, différente du réseau de flocculi du calcium ionisé. Les points les plus marquants de celui-ci sont peut-être représentés par de faibles maxima d'intensité qui parsèment irrégulièrement le disque. Enfin,

⁽¹⁾ Les premiers spectrohéliogrammes avec la raie H_α ont été obtenus par G.-E. Hale, au Mont Wilson, en 1908 [43]. La fente sélectrice de l'appareil employé (Snow Telescope) était large, en moyenne, de 1 Å au moins et isolait la raie entière.

⁽²⁾ Ces valeurs se rapportent plus spécialement au côté de la raie le plus réfrangible.

⁽³⁾ Les caractères des différentes images de l'hydrogène ont été décrits en détail et reproduits dans le tome 4, 1^{re} partie, des *Annales de Meudon*.

on discerne, autour des plages faculaires, une structure très particulière, qui rappelle les spectres magnétiques dessinant les lignes de force d'un champ. Ce sont les *Solar Vortices* de Hale [43].

Sur l'image obtenue à $0,25 \text{ \AA}$ du milieu de la raie, la granulation est beaucoup plus apparente et l'on peut plus aisément en fixer les caractères ⁽¹⁾. Par son aspect, elle rappelle la granulation photosphérique, mais ses éléments semblent être, en moyenne, notablement plus grands.

G.-E. Hale et F. Ellerman estiment néanmoins [40] que les grains les plus petits n'excèdent pas deux secondes d'arc. Ils seraient donc, en diamètre, deux fois plus gros seulement que les grains de calcium ionisé observés sur les images H_2 , K_2 , eux-mêmes du même ordre de grandeur que les « grains de riz ». Les auteurs admettent que les grains de H_α et du calcium se correspondent, comme ces derniers correspondent aux grains de la surface. Mais il paraît peu probable que cette correspondance existe réellement.

Hale et Ellerman admettent aussi que les grains d'hydrogène sont, non pas brillants avec des intervalles sombres, mais, au contraire, sombres avec des intervalles brillants. C'est, en effet, l'impression que laisse l'examen des clichés. Néanmoins, les observateurs américains reconnaissent que le rapport entre la surface recouverte par les grains et la surface des intervalles varie de 40 à 60 pour 100 suivant la limite d'intensité choisie pour fixer le contour des grains. La forme de ceux-ci, d'autre part, ne se distingue pas sensiblement de l'aspect des intervalles de sorte que l'on peut, semble-t-il, parler indifféremment de grains brillants sur fond sombre ou de grains sombres sur fond brillant.

Les *Solar Vortices*, comme la granulation, se montrent avec des contrastes beaucoup plus marqués sur l'image obtenue à $0,25 \text{ \AA}$ du milieu de H_α . Par contre, les plages faculaires et les points brillants apparentés aux flocculi tendent à disparaître, ainsi que les protubérances; les filaments sont encore visibles.

Enfin, lorsque la fente sélectrice est à la troisième position mentionnée plus haut, l'aspect des spectrohéliogrammes est tout différent. Rien, ou presque rien, ne subsiste des structures précédentes. A leur place, apparaît un réseau de plages et de flocculi *sombres* qui reproduit, dans sa forme générale, le réseau de plages et de flocculi donné par les raies H et K.

Dans les positions intermédiaires de la fente, les images présentent des caractères, également intermédiaires, où les trois structures sont plus ou

⁽¹⁾ A notre connaissance, aucune tentative n'a été faite pour vérifier que la granulation de cette image était bien identique à celle donnée par le milieu de la raie. Elle paraît cependant n'en pas différer sensiblement.

moins mêlées. Au delà de $0,50 \text{ \AA}$, vers le spectre continu, les plages et flocculi sombres diminuent rapidement d'intensité et d'étendue et les spectrohéliogrammes redeviennent semblables à des photographies directes du Soleil.

Plusieurs auteurs, en particulier H. Deslandres [1], T. Royds [45], ont signalé que les images obtenues dans des positions symétriques de la fente par rapport au milieu de la raie ne présentaient pas exactement les mêmes caractères. Pour Royds, le maximum de visibilité des filaments se produit à $0,2 \text{ \AA}$. De plus, la structure des plages et des flocculi sombres apparaît plus vite sur le côté de la raie le moins réfrangible.

L'assombrissement du disque au bord, peut-être plus marqué que celui des images du calcium ionisé, dans les deux dernières positions de la fente, semble au contraire plus faible dans la position médiane qui donne la couche supérieure.

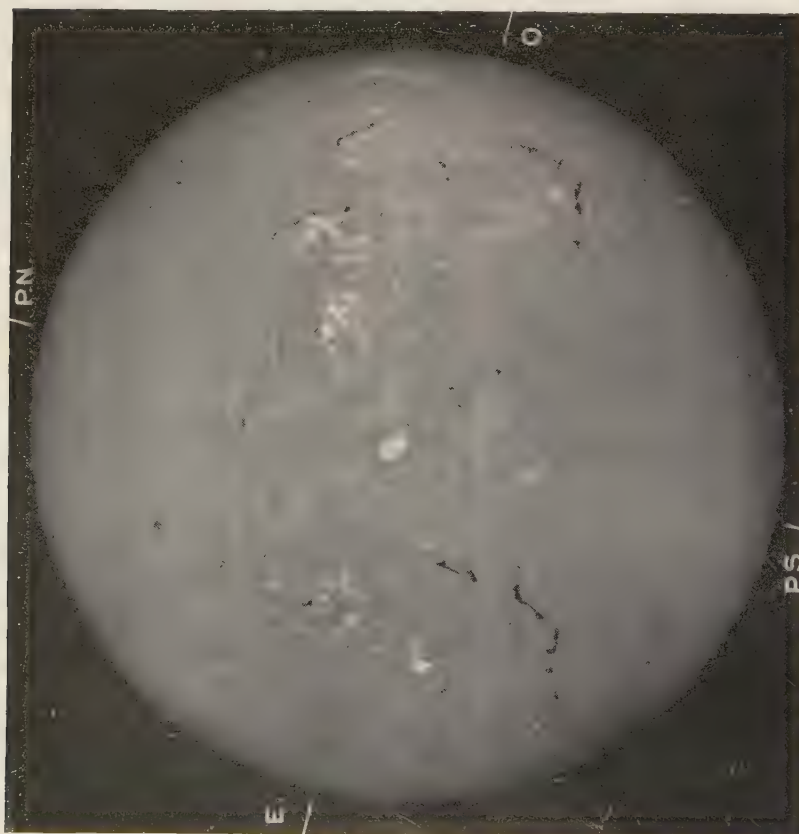
21. *Images* H_β , H_γ , H_δ . — Même étudiées avec une fente sélectrice relativement plus étroite que celle employée avec H_α , ces raies fournissent, au plus, deux images distinctes qui correspondent à leur partie médiane et aux bords extrêmes de celle-ci ⁽¹⁾.

Sur la première, on retrouve à la fois les caractères de la couche supérieure de H_α et ceux de l'image voisine (à $0,25 \text{ \AA}$). Mais ces caractères, déjà très atténués avec H_β , se montrent de plus en plus faiblement avec les raies suivantes. Par contre, des plages et des flocculi sombres, très analogues à ceux observés à $0,50 \text{ \AA}$ du milieu de H_α , apparaissent, de plus en plus marqués.

Du mélange, en proportions variées, de ces deux structures, résultent des aspects assez différents. L'image H_β est la plus complexe. Les plages brillantes, peu étendues, se détachent sur des plages sombres, plus vastes. La granulation (§ 20), mêlée aux flocculi sombres, est difficile à discerner. Les *Solar Vortices* sont encore bien visibles, ainsi que les filaments et les protubérances au bord. Celles-ci sont encore assez nettes sur l'image H_δ dont la structure, beaucoup plus simple, ne montre guère, en dehors des filaments, que les plages et flocculi sombres. L'image H_γ est intermédiaire entre les deux précédentes.

Aux bords extrêmes des trois raies, les spectrohéliogrammes obtenus sont très analogues à ceux que fournissent les parties correspondantes

⁽¹⁾ H_γ , large en moyenne de $0,44 \text{ \AA}$, a été étudiée à Meudon avec une fente de $0,05 \text{ \AA}$. Des images de la même raie ont été faites par G.-E. Hale et F. Ellerman avec une fente de $0,15$ à $0,20 \text{ \AA}$.



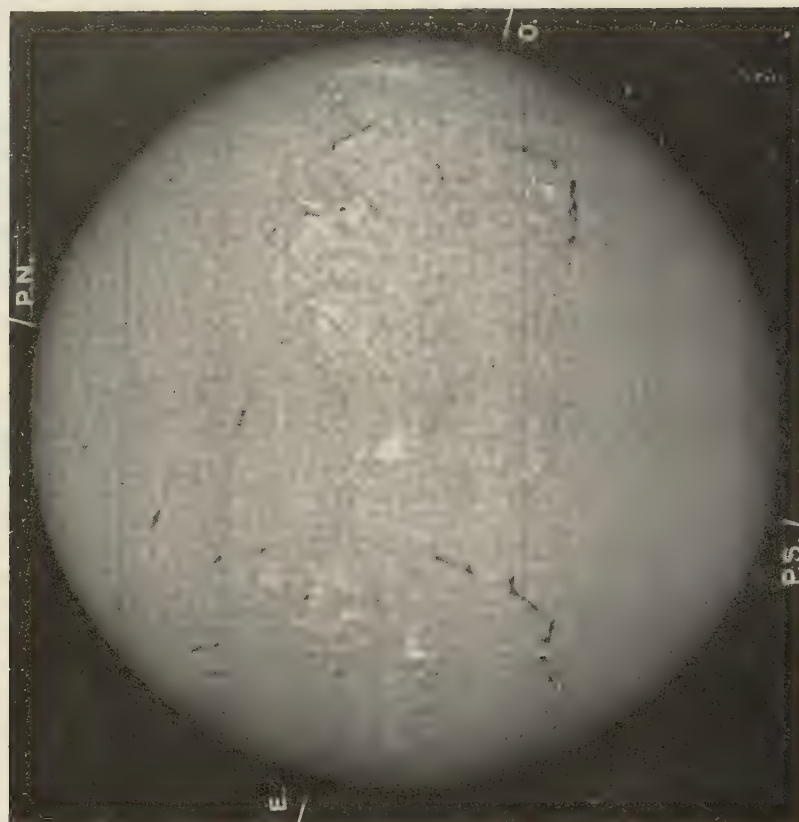
1. — Couche supérieure de l'hydrogène.

Image obtenue avec le milieu de la raie H_{α} ,
le 5 juin 1930, de 16^h 39^m à 16^h 40^m (T. U.).

Pour les deux images

Λ Largeur de la fente = 0.03

λ Largeur de la fente sélectionnée = 0.001, 09 = 0.16 Å.

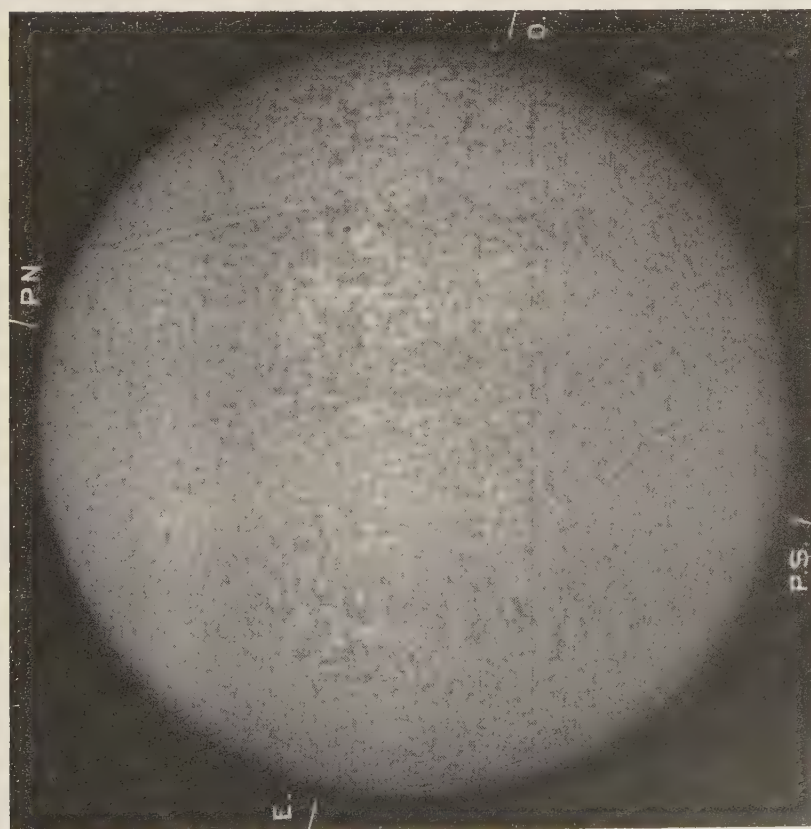


2. — Couche moyenne de l'hydrogène.

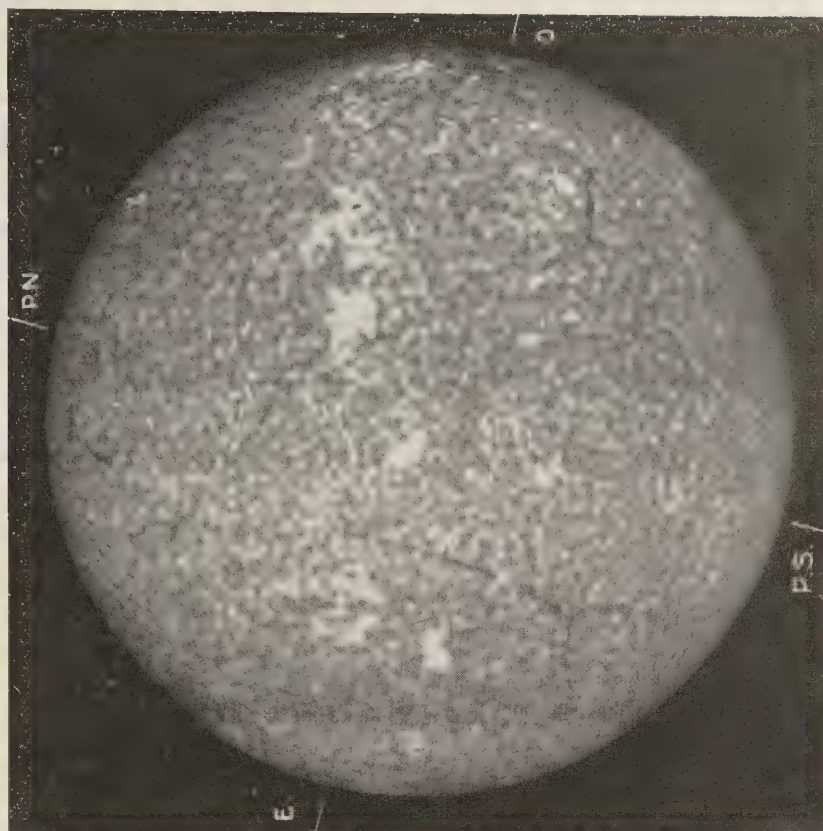
Image obtenue à $\lambda = 6,55 \text{ Å}$ du milieu de H_{α} ,
le 5 juin 1930, de 15^h 47^m à 15^h 48^m (T. U.).

Λ Largeur de la fente = 0.03

λ Largeur de la fente sélectionnée = 0.001, 09 = 0.16 Å.



1. — Image de l'hydrogène,
obtenue à $\sim 0,56 \text{ \AA}$ du milieu de H_{α} ,
le 5 juin 1930, de $10^6 \text{ } 27^{\circ}$ à $10^6 \text{ } 3,5^{\circ}$ (T. I.).
Largeur de la fente $\approx 0,04, 03$.
Largeur de la fente sélectrice $\approx 0,1, 09 \rightarrow 0,16 \text{ \AA}$.



2. — Couche supérieure du calcium ionisé,
image K_{31} ,
le 5 juin 1930, de $17^h \text{ } 1^m$ à $17^h \text{ } 40^m$ (T. I.).
Largeur de la fente $\approx 0,05, 04$.
Largeur de la fente sélectrice $\approx 0,05, 09 \rightarrow 0,14 \text{ \AA}$.

de H_α . En fait, quelle que soit la position de la fente sélectrice entre le milieu des raies et leurs bords, les images offrent des plages et des flocculi sombres. Ceux-ci diminuent graduellement d'étendue à partir de l'image médiane et finissent par disparaître quand la fente est tout entière sur l'aile. On retrouve alors l'aspect des photographies directes du Soleil.

Comme pour les raies K et H_α , l'assombrissement des bords du disque paraît plus marqué quand on s'écarte de l'image médiane. Pour celle-ci, il varie probablement d'une raie à l'autre tout en demeurant supérieur à l'assombrissement, au milieu de H_α .

22. *Aspect des taches sur les images de l'hydrogène.* — D'une façon générale, l'ombre reste visible, même sur les images obtenues avec la partie médiane des raies. Tout au plus, est-elle quelque peu rétrécie ou voilée. La pénombre est masquée. A mesure que l'on s'écarte de la partie médiane, la pénombre réapparaît et finit par reprendre son aspect habituel des photographies directes.

Un fait curieux a été signalé par T. Royds sur les images fournies par l'extrême bord de H_α [46] : le plus souvent, les taches, encore réduites à leur ombre, s'y montrent entourées d'un anneau brillant étroit. Le même phénomène avait été noté antérieurement par G.-E. Hale et F. Ellerman [47] sur les images données par H_γ . Mais ces observateurs employaient alors une dispersion trop faible pour reconnaître à quelle position particulière de la fente sélectrice correspondait l'apparition des anneaux brillants.

23. *Nature des plages et flocculi sombres observés aux lisières des raies de l'hydrogène.* — Les divers auteurs [22] [48] s'accordent à les attribuer surtout aux sinuosités que présentent les lisières de ces raies. Lorsque la fente sélectrice, en effet, est placée assez près d'une des lisières pour que le spectre voisin, plus lumineux, intervienne aussi dans la formation de l'image, l'intensité des détails enregistrés sur la plaque photographique dépend évidemment du dosage des deux lumières qui pénètrent ensemble dans la fente. Or, les sinuosités sont, en général, symétriques aux deux lisières et correspondent ainsi, le plus souvent, à des variations de la largeur des raies. L'éclat de l'image sera donc le plus faible aux points du disque solaire où la raie employée sera le plus large.

D'autre part, il a été reconnu (§ 6) que H_α — et sans doute aussi les autres raies — s'élargissait habituellement aux points où le calcium ionisé était plus brillant. Il n'est donc pas surprenant que les images obtenues aux lisières des raies de l'hydrogène représentent, en quelque manière, le contre-type des spectrohéliogrammes H_2 , K_2 , ou H_3 , K_3 . On comprend

aussi pourquoi l'étendue des flocculi sombres diminue graduellement quand la fente sélectrice s'écarte du milieu des raies; les sinuosités sont, en effet, traversées par la fente suivant des cordes de plus en plus courtes, jusqu'à ce que soit atteint leur sommet, qui correspond à l'absorption maxima, au centre du flocculus.

Cette explication pourrait être en défaut si l'éclat des raies variait dans de larges proportions, en même temps que leur largeur. Mais il n'en est pas ainsi dans le cas actuel où les variations d'éclat sont faibles, en général. D'ailleurs, nous avons vu que les raies s'assombrissaient là où elles étaient plus larges, ce qui tend à renforcer et non à contrarier, l'effet produit par les sinuosités.

La cause principale de l'augmentation de largeur, en certaines parties des raies, paraît bien être l'augmentation du pouvoir absorbant du gaz qui les produit. D'autre part, il est vraisemblable d'admettre que l'augmentation du pouvoir absorbant correspond à une pression ou à une densité plus forte. Les minima de lumière observés sur les images marqueraient ainsi les régions dans lesquelles la pression ou la densité de l'hydrogène est maxima.

Dans le même ordre d'idées, les anneaux brillants signalés par Royds indiqueraient, comme l'a fait remarquer cet observateur, que, autour des taches, la densité ou la pression de l'hydrogène est plus faible que dans les régions voisines.

24. *Plages et flocculi sombres observés avec les parties médianes de H_{β} , H_{γ} , H_{δ} .* — On ne peut invoquer ici, pour expliquer ces phénomènes, l'influence des sinuosités aux lisières des raies, puisque la fente sélectrice est assez fine pour n'isoler que leur partie médiane : les flocculi sombres observés sont produits par de réelles variations d'éclat.

Dès lors, on peut se demander pourquoi ces variations sont, dans l'ensemble, en sens contraire pour le calcium ionisé et l'hydrogène, le premier devenant plus brillant quand le second se montre plus sombre.

Pour rendre compte de cette anomalie apparente, H. Deslandres [1] a proposé l'interprétation suivante : Il remarque d'abord que l'atmosphère solaire, parcourue par d'incessants courants de convection, présente certainement, en ses divers points, des différences de pression appréciables. Il estime, d'autre part, comme on sait, que l'illumination des vapeurs chromosphériques a, pour une grande partie, une origine électrique. Or, les gaz, illuminés électriquement, ont une pression de maximum d'éclat, variable pour chacun d'eux. Si cette pression est justement assez différente,

pour le calcium ionisé et l'hydrogène, il est clair que les maxima d'intensité ne peuvent se produire aux mêmes points pour les deux éléments.

25. *Granulation et Solar Vortices.* — Cette structure spéciale qui, dans son ensemble, ne paraît pas pouvoir être reliée aux détails de la surface, a été souvent considérée comme représentant l'état de l'hydrogène à un niveau particulièrement élevé ⁽¹⁾.

G.-E. Hale et F. Ellerman [22] situent ce niveau au-dessus des images H_2 , K_2 . Pour justifier cette assertion, ils remarquent que les *Solar Vortices*, dont le maximum de visibilité correspond à une région de H_α située entre le milieu de la raie et les lisières de celle-ci, sont de moins en moins marqués avec les raies plus réfrangibles et n'apparaissent que très exceptionnellement sur les images H_2 , K_2 . La visibilité d'une structure étant évidemment la meilleure quand on est plus rapproché du niveau moyen de la couche où elle est produite, c'est donc que les couches considérées se superposent dans l'ordre suivant, à partir de la surface : H_2 ou K_2 , H_γ , H_β , H_α (partie moyenne).

Mais, pour les observateurs américains, d'autres raisons encore indiquent que le niveau de l'hydrogène est particulièrement élevé [40] : d'une part, en effet, les grains les plus petits observés sur les images H_α sont encore nettement plus gros que la moyenne des grains H_2 , K_2 (§ 20); en d'autres termes, les sections des colonnes gazeuses qui, dans la chromosphère, prolongent les grains de la surface, sont plus étendues dans le premier cas que dans le second; or, l'épanouissement des colonnes doit être d'autant plus marqué qu'elles atteignent une hauteur plus grande. En second lieu, les grains de H_α ne sont pas brillants, mais sombres, ce qui peut signifier qu'aux niveaux où ils sont produits, la température s'est suffisamment abaissée pour que l'hydrogène ne manifeste plus sa présence que par son absorption et non par un excès de radiation, comme le calcium ionisé, au niveau H_2 , K_2 .

Toutefois, en invoquant ces deux dernières raisons, Hale et Ellerman ne paraissent pas avoir clairement séparé les flocculi sombres, contre-types des flocculi brillants du calcium ionisé, de ce que nous avons appelé ici la *granulation*. Les caractères de ces deux structures sont cependant très nettement différents.

(1) Diverses explications ont été proposées pour rendre compte de l'aspect plus ou moins tourbillonnaire des grains d'hydrogène autour des taches. G.-E. Hale estime actuellement [49] que les *Solar Vortices* sont dus à des forces hydrodynamiques, agissant d'une manière analogue à celles qui produisent les cyclones terrestres.

H. Deslandres situe, lui aussi, la granulation et les *Solar Vortices* au-dessus des flocculi H_2 , K_2 et même H_3 , K_3 [1]. Par contre, son opinion diffère de celle des auteurs précédents quant au niveau des flocculi sombres observés sur les images données par le milieu des raies les plus réfrangibles de l'hydrogène. Pour lui, la couche H_1 comprend les couches basse (H_1 , K_1) et moyenne (H_2 , K_2) du calcium ionisé et une partie de la couche supérieure (H_3 , K_3). Les différences dans la pression de maximum d'éclat des deux éléments (§ 24) suffisent à expliquer le renversement d'intensité des flocculi.

Les raisons invoquées pour situer la couche moyenne de H_α , où la granulation et les *Solar Vortices* atteignent leur visibilité maxima, au-dessus de la couche la plus élevée du calcium ionisé, n'échappent pas à toute critique. D'ailleurs, si l'on admet cet échelonnement des niveaux, la couche supérieure de l'hydrogène, fournie par le milieu de H_α , doit accuser une différence de hauteur marquée par rapport à la couche correspondante donnée par H_3 , K_3 . Or, extérieurement au bord solaire, l'élévation des composantes médianes des deux raies est à peu près la même. C'est là une objection sérieuse qui, jusqu'à présent, ne paraît pas avoir été levée.

On n'a pas donné non plus d'explication satisfaisante de la diminution très marquée que subissent la granulation et les *Solar Vortices* quand on passe de la couche moyenne à la couche supérieure de H_α . Sans doute, comme l'ont fait remarquer G.-E. Hale et F. Ellerman [22], cette modification d'aspect est-elle due à l'absorption, par les parties les plus élevées du gaz, de la lumière de la couche sous-jacente. Mais il est curieux que la structure de ces parties élevées soit plus uniforme que la structure de la couche moyenne alors que, avec le calcium ionisé, le relief des détails augmente avec le niveau.

26. *Plages faculaires brillantes H_α* . — Nous avons vu (§ 20) que ces plages, plus réduites que les plages du calcium ionisé, occupent, sur le disque, les mêmes positions que celles-ci et en reproduisent les détails les plus brillants. L'explication, donnée au paragraphe 18, apparaît donc encore valable ici : l'hydrogène H_α , comme le calcium ionisé, a un éclat plus vif au-dessus des parties élevées de la surface.

Remarquons qu'il y a, en quelque sorte, opposition entre la visibilité des plages faculaires brillantes de l'hydrogène et celle de la granulation. Les plages ont leur visibilité maxima au milieu de H_α où la granulation apparaît à peine. Celle-ci, au contraire, atteint son plus grand relief à — 0,25 Å du milieu de la raie, quand les plages sont déjà très affaiblies. Il y a là une indication que les deux structures ont une origine différente.

Si la première reproduit bien le relief de la surface, il est douteux que la seconde ait quelque parenté avec lui.

La disparition rapide des plages faculaires brillantes, quand on s'écarte du milieu de la raie, est très caractéristique; au delà de la région où se produisent les plages et flocculi sombres, rien ne rappelle la structure observée dans les ailes, beaucoup plus marquées, il est vrai, des raies H et K.

27. *Conventions sur les indices des composantes.* — Nous avons situé provisoirement les composantes H_{x_2} , sur le disque, dans les régions diffuses qui bordent la partie médiane. Celle-ci, d'après Rowland, a une largeur moyenne de $0,96 \text{ \AA}$. C'est donc à une distance de son milieu égale à $0,50 \text{ \AA}$ environ, que la structure H_{x_2} , si elle existe, doit se manifester le plus nettement. Or, c'est à $0,25 \text{ \AA}$ que la granulation et les *Solar Vortices*, révélant l'existence d'une couche distincte, de niveau inférieur à H_{x_3} , apparaissent le mieux.

Il y a là un désaccord qui peut tenir, en grande partie, à l'apparition des plages et flocculi sombres aussitôt que la lumière extérieure aux lisières pénètre dans la fente et qui tend à influencer, en le reportant vers le milieu de la raie, le choix de la région où la visibilité de la granulation est maxima.

On ne peut affirmer cependant que, en l'absence de cette structure particulière, le désaccord deviendrait tout à fait négligeable. Néanmoins, pour la commodité, nous appellerons désormais H_{x_3} et H_{x_2} , respectivement, les images obtenues au milieu de la raie et à $0,25 \text{ \AA}$ de celui-ci, en nous souvenant qu'on ne peut attribuer une signification aussi précise à l'indice 2 dans le cas de l'hydrogène que dans celui du calcium ionisé.

Nous désignerons par H_{x_1} , la structure observée à $0,50 \text{ \AA}$, aux lisières de H_x ; et, de même, par H_{β_1} , H_{γ_1} , H_{δ_1} , les structures observées, respectivement, aux lisières de ces raies.

III. — Images données par les raies de la couche renversante.

28. *Historique.* — En 1893, peu de temps après que les premières images avec les raies H et K du calcium ionisé étaient obtenues, H. Deslandres signalait [50] l'intérêt que présenterait l'extension, aux nombreuses raies noires du spectre solaire, de la méthode spectrohéliographique.

En 1894, il applique à cette recherche l'instrument qu'il a construit à l'Observatoire de Paris et isole successivement des raies du fer, de l'alumi-

nium, du calcium et du carbone, choisies parmi les plus larges de la région violette du spectre [51].

La dispersion est faible, 17 Å par millimètre environ, et la fente sélectrice laisse passer, non seulement la partie médiane des raies, mais aussi leurs ailes. Les images obtenues sont à peu près identiques aux images H_1 , K_1 . L'auteur estime qu'elles représentent l'aspect des vapeurs de la couche renversante, mais fait néanmoins quelques réserves, le spectrohéliographe employé n'étant pas assez puissant.

En 1903, G.-E. Hale et F. Ellerman [15] entreprennent quelques essais sur la raie du calcium $\lambda 4227$ et la raie du fer $\lambda 4384$, avec le « Rumford Spectroheliograph », attaché au grand réfracteur de l'Observatoire Yerkes. Leur dispersion, qu'ils ne précisent pas, est certainement plus forte que la précédente. Toutefois, elle reste probablement inférieure à 6 Å au millimètre, de sorte que l'instrument ne peut encore séparer la partie médiane des raies, large de 0,15 Å environ, des régions avoisinantes. Aussi, les auteurs se bornent-ils à constater que Ca 4227 ne donne pas la structure granulaire de H_2 , K_2 , sans chercher à interpréter ces résultats, seulement préliminaires.

Avec le même instrument, P. Fox, en 1905 [42], isole plusieurs raies de la couche renversante appartenant au fer, au calcium et au chrome neutres; au strontium et au scandium ionisés. Il note que les plages brillantes, près du bord des images, ne se différencient pas des facules et que, au centre du disque, elles sont à peu près identiques aux plages fournies par l'aile de H, quand la fente est placée à 6,4 Å du milieu de cette raie (§ 19). Pour lui, cette similitude de formes peut être interprétée de trois façons différentes : 1° Le spectrohéliographe, dont la fente sélectrice laisse passer une forte proportion de la lumière des ailes ou même, pour les raies très étroites, du spectre continu voisin, n'a pu séparer le rayonnement propre de la vapeur du rayonnement de la photosphère. Celui-ci est seulement affaibli dans les parties basses et ce sont les facules elles-mêmes que l'appareil enregistre. 2° On admet, avec Hale et Ellerman, que les plages du centre du disque représentent réellement l'aspect de l'élément considéré. Alors, la dispersion est insuffisante pour mettre en évidence la structure de la couche supérieure. 3° Enfin, toujours dans l'hypothèse que les plages observées sont dues à l'émission des vapeurs, celles-ci sont trop peu élevées pour que leur aspect se distingue nettement de celui des facules.

Entre temps, en 1904, H. Deslandres obtenait à Meudon de nouvelles images [38] avec les raies violettes les plus importantes des vapeurs basses. Le spectrohéliographe employé avait à peu près la même dispersion que celui de 1894, mais le diamètre des images était porté de 4 à 9^{cm}. Les

résultats obtenus sont identiques à ceux de la première étude : les raies isolées donnent des images K_1 .

Enfin, en 1906, G.-E. Hale et F. Ellerman [47], opérant, au Mont Wilson, avec une dispersion d'environ $4 \text{ \AA}$ au millimètre, un peu supérieure, par conséquent, à celle du « Rumford Spectroheliograph », comparent les images données par la raie du fer $\lambda 4046$ aux images H_1 . Ils trouvent que les « flocculi du fer » sont en accord étroit avec les flocculi du calcium.

Aucun des instruments précédents n'avait permis d'isoler séparément, dans les raies étudiées, les ailes et la partie médiane. Comme celle-ci est relativement beaucoup plus sombre, il était à présumer que, dans les images obtenues, les détails observés se rapportaient presque exclusivement à la lumière des ailes et que les caractères spéciaux aux couches supérieures des vapeurs, qui correspondent aux parties médianes, demeureraient à peu près invisibles. En 1907, H. Deslandres et moi-même [52] réalisons, à Meudon, un spectrohéliographe dans lequel la dispersion, pour la région violette du spectre, est d'environ $1,2 \text{ \AA}$ par millimètre. Avec cet instrument, dont la fente sélectrice est large de $0^{\text{mm}},03 = 0,04 \text{ \AA}$, nous isolons les différentes parties des raies du fer $\lambda 4046$ et $\lambda 4384$. Les résultats confirment l'observation faite auparavant par H. Deslandres, avec un simple spectrographe (*voir* § 11) : ce sont les ailes des raies qui donnent les plages et flocculi du type H_1 , K_1 . Ceux-ci sont invisibles, malgré une pose plus longue, sur les images formées à l'aide de la partie médiane qui offrent, par contre, « un réseau spécial de petites inégalités ». Ces images représentent vraisemblablement la couche supérieure de la vapeur de fer.

Le spectrohéliographe employé, d'un maniement incommode et ne donnant pas l'image complète du Soleil, ne pouvait permettre de préciser les caractères de la nouvelle structure. En 1909, profitant des conditions meilleures offertes par le spectrohéliographe à trois fentes qui venait d'être installé à Meudon, nous étudions à nouveau [44] la raie du fer $\lambda 4384$. Nous confirmons les résultats précédents en remarquant, néanmoins, que la partie médiane donne un peu aussi les plages faculaires brillantes, mais beaucoup plus faiblement que les ailes et réduites à de fines arêtes.

L'étude ne peut alors être poursuivie et, jusqu'en 1926, aucun travail spectrohéliographique sur les raies de la couche renversante ne sera, à notre connaissance, publié. C'est en 1926 que commencent les recherches exposées aux chapitres suivants de ce Mémoire. Au cours de la même année, S.-B. Nicholson et L.-H. Humason [53] ont signalé, sans indiquer la dispersion employée, que la structure des images données par les raies du fer $\lambda 3720$, $\lambda 3735$ et $\lambda 3860$ était très analogue à celle des images H_1 , K_1 .

Le Tableau I résume, en les groupant par ordre chronologique, les

indications que nous avons pu recueillir sur les systèmes optiques et la dispersion des instruments employés par les divers auteurs, les raies étudiées et les résultats obtenus. Les dispersions précédées d'un astérisque ont été déduites indirectement des dispositions optiques décrites et sont seulement approximatives.

Au total, 15 raies ont été étudiées, appartenant à 8 éléments différents.

Signalons, en terminant, que G.-E. Hale, appliquant le spectrohélioscope ⁽¹⁾ à l'étude des images données par les raies D, du sodium et *b*, du magnésium, a reconnu, en 1926 [54] que, lorsque la fente sélectrice est placée sur la partie médiane de ces raies, les taches se montrent recouvertes d'un voile fumeux, uniforme (structureless), faisant disparaître les plus petites et diminuant la netteté des plus grandes.

⁽¹⁾ On sait que le spectrohélioscope, réalisé par Hale en 1924, consiste essentiellement en un spectroscopie à retour de rayons, dans lequel l'image d'une raie donnée se forme sur une fente sélectrice, placée dans le plan de la première fente et sur le prolongement de celle-ci. Une barre métallique oscillante, commandée par un moteur électrique, porte les deux fentes, disposées symétriquement par rapport à son axe d'oscillation, lequel est parallèle à l'axe optique de l'instrument. Pour les oscillations de faible amplitude, la raie reste isolée dans la fente sélectrice. On peut alors, en visant avec un oculaire le champ balayé par celle-ci, observer visuellement, grâce à la persistance des impressions sur la rétine, les détails chromosphériques correspondant à la raie isolée. La dispersion, employée par Hale en 1926, était de l'ordre de 1 Å au millimètre.

TABLEAU I. — RAIES DE LA COUCHE RENVERSANTE ÉTUDIÉES JUSQU'ICI AU SPECTROHÉLIOGRAPHE.
RÉSULTATS OBTENUS.

AUTEURS, instruments employés.	SYSTÈME dispersif.	DISTANCE focale de la chambre.	DISPER- SION Å par mm.	RAIES ÉTUDIÉES. Élément et λ .	I ROWLAND	RÉSULTATS.
H. DESLANDRES, 1894. Spectrohéliographe de Paris.....	Un prisme flint.	1 ^m	17	Non précisées. Raies violettes les plus larges de Fe, Al, Ca, C.		Images à peu près identiques aux images H ₁ , K ₁ .
G.-E. HALE et F. ELLERMAN, 1903. « Rumford Spectroheliograph » de l'Observatoire Yerkes.....	Réseau de 587 traits par mm et deux prismes.	1 ^m	*6	Ca 4226,742 Fe 4383,559	20 15	Les images ne montrent pas la structure granulaire de H ₂ , K ₂ .
H. DESLANDRES, 1904. Petit spec- trohéliographe de Meudon.....	Un prisme flint.	1 ^m	14	C 3883 (Bande) La II } 3886,296 Fe } Al 3944,018 Al 3961,537 Fe 4045,827 Fe 4063,607	» 15 15 20 30 20	Images à peu près identiques aux images H ₁ , K ₁ .
P. FOX, 1905. « Rumford Spectro- heliograph »	Réseau de 587 traits par mm et deux prismes.	1 ^m	*6	Fe 4045,827 Sr II 4077,726 Ca 4226,742 Cr 4254,348 Cr 4274,808 Ce II } 4320,751 Sc II } Fe 4383,559	30 8 20 8 7 3 15	Les plages brillantes, près du bord solaire, ne se différencient pas des facules. Au centre du disque, elles sont à peu près identiques à celles que l'on ob- tient à 6 ^h ,4 du milieu de H.
G.-E. HALE et F. ELLERMAN, 1906. « Five-Foot Spectroheliograph » de l'Observatoire du Mont Wilson.....	Deux pris- mes flint de 63°29'.	1 ^m ,52	*4	Fe 4045,827	30	Les « flocculi du fer » sont en accord étroit avec ceux du cal- cium.
H. DESLANDRES et L. d'AZAM- BUJA, 1907. Spectrohéliographe de Meudon.....	Réseau de 570 traits par mm.	3 ^m ,45	1,2	Fe 4045,827 Fe 4383,559	30 15	Ce sont les ailes qui donnent les plages brillantes H ₁ , K ₁ . La partie médiane montre un réseau spécial de petites inégalités.
H. DESLANDRES et L. d'AZAMBUJA, 1909. Grand Spectrohéliographe double, à 3 fentes, de Meudon.	Trois pris- mes flint de 61°.	7 ^m	1,1	Fe 4383,559	15	Résultats analogues. On voit encore un peu les plages bril- lantes avec la partie médiane.
S.-B. NICHOLSON et L.-H. HUMASON, 1926..... ?	»	»	»	Fe 3719,949 Fe 3734,876 Fe 3859,924	40 40 20	Images à peu près identiques aux images H ₁ , K ₁ .

IV. — Résumé. Structures types observées au spectrohéliographe.

29. *Tableau récapitulatif.* — Les structures des diverses images que nous avons étudiées dans les paragraphes précédents peuvent, en faisant abstraction des différences de détail, se grouper en quatre classes, comme l'indique le Tableau II :

TABLEAU II.

Classes.	Caractères principaux.	Raies ou composantes des raies isolées.	Intensité relative des structures.		
I.	Plages faculaires et réseau de flocculi brillants.	H ₃ , K ₃ , du calcium ionisé.....	Très forte.		
		H ₂ , K ₂ , »	Forte.		
		H ₁ , K ₁ , »	Faible.		
		Ailes des raies du fer λ 4046 et λ 4384.....	Faible.		
		Parties médianes des raies du fer λ 4046 et λ 4384.....	Extrêmement faible.		
	Même structure, modifiée.	H _{α₃} , de l'hydrogène	Forte.		
		H _{β₃} , »	Faible.		
II.	(Contre-type de la structure précédente).	H _{γ₃} , »	Très faible.		
		H _{α₁} , »	Forte.		
		H _{β₁} , »	Assez forte.		
		H _{γ₁} , »	Assez forte.		
		H _{δ₁} , »	Assez forte.		
		H _{β₃} , »	Moyenne.		
		H _{γ₃} , »	Assez forte.		
		H _{δ₃} , »	Assez forte.		
		III.	Granulation et <i>Solar Vortices</i> .	H _{α₃} , »	Faible.
				H _{α₁} , »	Très forte.
H _{β₃} , »	Moyenne.				
H _{γ₃} , »	Très faible				
IV.	Réseau de petites inégalités.			Parties médianes des raies du fer λ 4046 et 4384.....	Faible.

30. *Types fondamentaux.* — En ne considérant toujours que les analogies d'ensemble et non la correspondance rigoureuse entre les détails, la classe II ne diffère de la classe I que parce que l'intensité des flocculi y est renversée. D'autre part, le réseau de la classe IV, autant que le petit nombre d'images sur lequel il a été observé permet d'en juger, a quelque ressemblance avec la granulation de la classe III. Toutefois, les *Solar Vortices* n'y apparaissent pas.

Les quatre classes pourraient ainsi se réduire à deux types fondamentaux : Le premier, directement lié aux variations du rayonnement de la surface solaire; le second, indépendant de ces variations et dont la nature exacte reste à préciser.

CHAPITRE II.

IMAGES DES VAPEURS BASSES OBTENUES A MEUDON DE 1926 A 1928.
INSTRUMENT ET MÉTHODE D'OBSERVATION.

I. — L'instrument.

31. *Dispositions générales.* — Le grand spectrohéliographe de Meudon est installé horizontalement, dans une salle au sol en ciment et dont les murs et le plafond, à parois épaisses, protègent l'instrument contre les variations rapides de la température. Le faisceau solaire lui est envoyé par un cœlostat à deux miroirs, abrité sous une cabane mobile indépendante. L'objectif astronomique, formant une image réelle du Soleil sur la première fente, est placé dans le plan même de la cloison qui, vers le cœlostat, sépare la salle de l'extérieur. Il est relié à cette cloison par un joint souple étanche à l'air. L'ouverture par laquelle le faisceau pénètre dans la salle est ainsi close par l'objectif lui-même, condition favorable à la netteté de l'image.

Une description complète de l'instrument et de ses organes annexes a été donnée par H. Deslandres dans le tome 4, 1^{re} partie, des *Annales de l'Observatoire de Meudon*. Il m'a paru nécessaire, néanmoins, d'en rappeler ici les dispositions principales avec quelque détail, notamment en ce qui concerne les pouvoirs dispersifs de ses diverses combinaisons et la réalisation des mouvements simultanés qui assurent l'enregistrement des images.

32. *Appareil astronomique.* — Le miroir du cœlostat a 50^{cm} de diamètre. Le rouage qui l'entraîne est muni d'un contrôle électrique commandé par la pendule temps moyen de la salle d'observation [55], de sorte que l'image solaire possède une fixité remarquable sur la fente du spectrohéliographe. Cette fixité était spécialement nécessaire pour les recherches actuelles qui ont souvent exigé des poses très longues (jusqu'à 1 heure et demie d'un bord à l'autre de l'astre) ⁽¹⁾.

(1) Le cœlostat ne possède aucun dispositif de guidage précis, permettant de rectifier les petits déplacements accidentels de l'image, au cours des poses.

Le faisceau, tombant sur le miroir du cœlostât, est réfléchi, habituellement dans le plan méridien, sur un second miroir, de 40^{cm} de diamètre qui, à son tour, le renvoie horizontalement vers le Nord, sur l'objectif astronomique. Dans ces conditions, la ligne Nord-Sud du Soleil est verticale sur la première fente du spectrohéliographe. Toutefois, pendant la saison où le second miroir et son support portent ombre sur le premier, celui-ci est déplacé, vers l'Est, le matin, vers l'Ouest, l'après-midi. Il en résulte une inclinaison de la ligne Nord-Sud, variable d'un jour à l'autre avec la déclinaison de l'astre, mais qui reste comprise entre 6° et 8°. Le support du second miroir peut glisser sur un banc métallique parallèle au plan méridien; un second banc, perpendiculaire au premier, porte le cœlostât. On peut, de cette façon, donner aux deux miroirs les positions relatives convenables pour assurer la continuité des observations entre le lever et le coucher du Soleil, et chaque jour de l'année.

L'objectif astronomique a 25^{cm} d'ouverture et 4^m de distance focale. Le diamètre moyen de l'image solaire initiale est ainsi de 36^{mm} environ. La courbe d'achromatisme est telle que la longueur focale ne varie que de 6^{mm} entre λ 3850 et λ 6000. Au delà, la variation est plus grande; elle atteint 15^{mm} entre K et H_α. Un dispositif spécial permet de vérifier aisément, pour chaque radiation, la mise au point sur la fente, que l'échauffement variable des miroirs du cœlostât et de l'objectif rend quelque peu instable.

33. *Le spectrohéliographe.* — Il comporte quatre chambres I, II, III, IV (*fig. 4*), dépendant d'un collimateur unique C et de deux organes dispersifs P et R. L'objectif du collimateur, O, a 12^{cm},5 d'ouverture et 1^m,25 de distance focale. Le premier organe dispersif, P, est constitué par un groupe de trois prismes de flint dont l'angle réfringent est de 61°; la largeur des faces travaillées est de 15^{cm}, leur hauteur, de 13^{cm},5. Les montures des prismes sont articulées entre elles et la mise au minimum de déviation, pour une radiation quelconque, est obtenue simplement par la manœuvre d'une vis à tambour gradué. Le second organe, R, est un réseau plan de Rowland, ayant 568 traits au millimètre, avec une surface striée de 8^{cm} sur 5^{cm},5. Le réseau, qui peut tourner autour d'un axe vertical, est placé entre les prismes et le collimateur, sur une coulisse perpendiculaire à l'axe de celui-ci. On peut ainsi, à volonté, en déplaçant la coulisse, envoyer le faisceau issu du collimateur dans les prismes, ou le recevoir sur le réseau.

La chambre I est orientée de manière à recueillir directement les faisceaux, de longueurs d'onde voisines de 4000, émergeant des prismes. Elle est

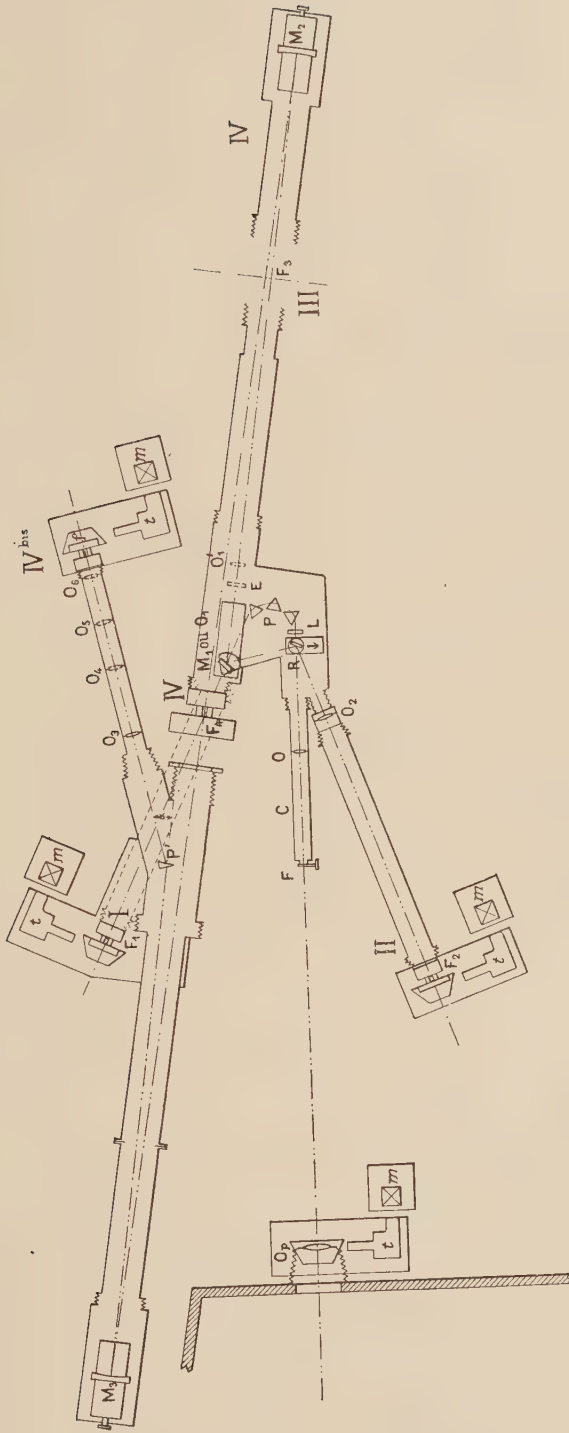


Fig. 4. — Schéma du grand spectrohéliographe de Meudon.

- | | | | |
|------------------|---|------------------|---|
| C, | collimateur. | P, | train de trois prismes. |
| O _p , | objectif de projection. | R, | réseau plan. |
| O, | objectif du collimateur. | P', | prisme de 30°. |
| O ₁ , | lentille de chambre, pour les combinaisons I et III. | L, | lentille correctrice. |
| O ₂ , | lentille de chambre, pour la combinaison II. | F, | fente du collimateur. |
| O ₃ , | lentilles ou objectifs de la chambre IV bis. | F ₁ , | fentes sélectrices. |
| O ₄ , | | | |
| O ₅ , | | | |
| O ₆ , | | | |
| M ₁ , | miroir plan auxiliaire. | f, | fente-diaphragme de la chambre IV bis. |
| M ₂ , | miroirs concaves de 7 ^m de distance focale | E, | écran à double fenêtre pour les images simultanées. |
| M ₃ , | | m, | moteurs électriques synchrones. |
| | | t, | transformateurs de vitesse. |

Sur le schéma, l'appareil est disposé pour l'emploi de la combinaison IV, avec le réseau.

munie d'une lentille simple, O_1 , de 15^{cm} d'ouverture et 3^m environ de distance focale.

La chambre II, pourvue d'une lentille semblable, O_2 , et disposée à peu près symétriquement par rapport au collimateur, reçoit, directement aussi, la lumière diffractée par le réseau. Des fentes sélectrices, F_1 , F_2 , de 12^{cm} de hauteur et comportant les organes de réglage convenables, sont placées dans les plans focaux de ces deux chambres.

Lorsqu'il faut opérer, avec les prismes, dans une région étendue du spectre, la chambre I, dont la direction est fixe, ne peut être utilisée. On substitue alors, à la lentille O_1 , un miroir plan auxiliaire M_1 dont le support peut, à la fois, tourner autour d'un axe vertical et se mouvoir parallèlement à lui-même, dans la direction $M_1 M_2$. Il est aisé, dès lors, d'envoyer en M_2 un faisceau réfracté de longueur d'onde quelconque. On peut d'ailleurs, en orientant convenablement le miroir M_1 et le réseau, placé à sa position de travail, remplacer en M_2 la lumière issue du premier système dispersif par un faisceau, de longueur d'onde quelconque également, provenant du second.

En M_2 , se trouve en permanence un miroir concave de 40^{cm} d'ouverture et de 7^m de distance focale. Dans l'intervalle $M_1 M_2$, on peut placer la

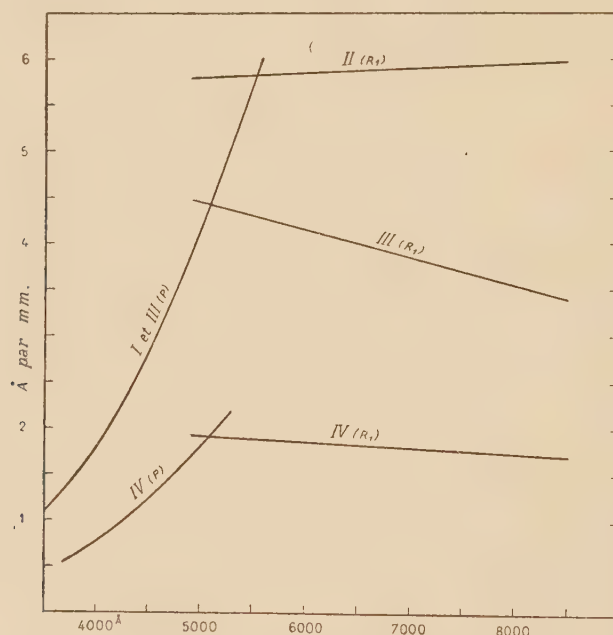


Fig. 5. — Dispersions linéaires, en angströms par millimètre, des quatre combinaisons du spectrohélographe.

lentille O_1 (en O'_1) et, dans son plan focal, une nouvelle fente sélectrice F_3 . On constitue ainsi la chambre III. Ou bien, laissant libre l'intervalle $M_1 M_2$,

on place en F_4 une fente sélectrice de 22^{cm} de hauteur qui, avec le miroir M_2 , forme la chambre IV, de 7^{m} de longueur.

Les dispersions linéaires des quatre combinaisons pour les différentes longueurs d'onde sont données par les courbes de la figure 5, complétées par le Tableau III. Celui-ci fournit, de plus, les valeurs moyennes des diamètres des images finales, aux quatre fentes sélectrices F_1 , F_2 , F_3 , F_4 .

TABLEAU III.

Dispositions.	Région du spectre utilisable.	Dispersion linéaire.			Diamètre moyen de l'image solaire finale. mm
		Pour λ .	Prismes. Å par mm	Réseau (1 ^{er} sp.). Å par mm	
I. 3 prismes, chambre 3 ^m	3900-4100	3934	1,7	»	86,5
II. Réseau, chambre 3 ^m	3600-9000	3934	»	5,7	86,5
		5184	»	5,8	87,5
		6563	»	5,9	89,5
III. 3 prismes ou réseau, chambre 3 ^m .	3600-9000	3934	1,7	4,8	86,5
		5184	4,6	4,4	87,5
		6563	9,4	4,0	89,5
IV. 3 prismes ou réseau, chambre 7 ^m .	3600-9000	3934	0,7	2,0	206,0
		5184	2,0	1,9	205,5
		6563	4,1	1,8	205,0

Pour le travail spectrohéliographique, on donne presque toujours, à la fente du collimateur, les largeurs respectives de $0^{\text{mm}},035$ et $0^{\text{mm}},015$, suivant qu'on emploie les chambres de 3^{m} ou la chambre de 7^{m} . L'image d'une radiation rigoureusement monochromatique a ainsi, aux diverses fentes sélectrices, une largeur uniforme de $0^{\text{mm}},08$, environ. L'élargissement supplémentaire dans la traversée du système optique est à peu près négligeable devant cette quantité, qui détermine le pouvoir de résolution *usuel* de l'instrument ⁽¹⁾.

Cependant, en F_4 , l'image solaire initiale est agrandie plus de cinq fois. On ne peut songer à l'enregistrer directement; les poses seraient beaucoup trop longues; il faut, au préalable, en réduire les dimensions. A cet effet, un second miroir concave, identique à M_2 et dont le plan focal contient

⁽¹⁾ A λ 4000 Å et pour la chambre de 7^{m} , celui-ci est alors d'environ 50 000. Mais, dans les conditions les meilleures, il peut être plus que doublé. Avec les prismes, en particulier, et une première fente large seulement de $0^{\text{mm}},005$, il dépasse 120 000 sur les doublets serrés des spectres de bandes. Cette valeur élevée du pouvoir de résolution met en évidence la qualité exceptionnelle des trois prismes du spectrohéliographe, fondus par Para-Mantois et taillés par Jobin. Les prismes présentent, à la vérité, un léger astigmatisme; mais celui-ci a pu être aisément corrigé par une lentille plan-cylindrique, de 2^{km} environ de rayon de courbure, visible en L sur la figure 4.

la fente F_4 , est placé en M_3 , dans le prolongement de $M_2 F_4$. Le faisceau ayant traversé F_4 est réfléchi par le miroir M_3 sur un prisme rectangle de 30° , en flint, P' (largeur des faces polies, 13 et 15^{cm}; hauteur 13^{cm},5) qui, après réfraction, le dirige dans la chambre IV *bis*. Le prisme P' peut tourner autour d'un axe vertical. D'autre part, l'angle α entre le prolongement de $M_3 P'$ et $P' f$, correspond sensiblement à la déviation minima pour $\lambda 3800$. Il suffit ainsi de faire tourner P' pour amener, dans la direction $P' f$, une radiation quelconque du spectre. Dans la région $\lambda 8500$, P' travaille à peu près sous l'incidence normale.

La chambre IV *bis* est munie d'un jeu de quatre lentilles ou objectifs, O_3 , O_4 , O_5 , O_6 , de distances focales variées et disposés de manière que leurs plans focaux soient tous en f .

Un spectrographe de réduction à collimateur de 7^m est ainsi constitué. Les caractéristiques des lentilles ou objectifs employés à la chambre IV *bis*, ainsi que les diamètres des images finales, sont donnés dans le Tableau IV :

TABLEAU IV.

Lentille ou objectif.	Ouverture.	Distance focale.	Diamètre moyen de l'image finale.
	^{cm}	^m	^{mm}
O_3 lentille simple.....	15	2 env.	58,5
O_4 »	8	1,30	39,5
O_5 doublet, 4 verres.....	12	0,65	19,5
O_6 »	10	0,30	9,0

En f , est placée une fente sélectrice de 7^{cm} de hauteur. Cette fente, toujours maintenue assez large (1^{mm} environ) pour la facilité des réglages, laisse passer l'image monochromatique réduite de la fente F_4 , transmise sans altération sensible par le prisme P' . Par contre, elle écarte la plus grande partie des lumières parasites de longueurs d'onde différentes, déviées par P' dans d'autres directions. La suppression presque complète de la lumière diffusée entre la première et la seconde fente, d'une part; l'élimination totale des spectres superposés, quand on utilise le réseau, d'autre part, justifient amplement l'emploi d'un second spectrographe, au lieu d'une simple chambre de réduction, malgré la perte de lumière et les complications supplémentaires entraînées par ce dispositif.

Un certain nombre de pièces des diverses combinaisons, comme on peut le voir sur la figure 4, interfèrent les unes avec les autres. Ce sont, le plus souvent, des tubes ou des caisses en bois servant à assurer l'étanchéité à la lumière sur le passage des faisceaux, et aménagés de manière à être déplacés facilement. Les seules pièces importantes qui ne peuvent être laissées en permanence à leur position sont : les montures de la lentille O_1 ,

et du miroir M_1 , les fentes sélectrices F_3 et F_4 et le support du prisme P' . Des précautions particulières ont été prises pour que le déplacement de ces pièces n'entraîne aucun changement dans les réglages de l'appareil. Leurs bases métalliques reposent sur des socles en fonte ou en laiton, fixés eux-mêmes solidement à des piliers en briques. Les socles sont munis de goupilles grâce auxquelles on peut retrouver aisément et exactement les positions des pièces. Quelques-unes de celles-ci sont lourdes; des treuils en facilitent la manœuvre et permettent, quand elles ne sont pas utilisées, de les suspendre au plafond très résistant de la salle. Cette organisation réduit au minimum le temps nécessaire pour passer d'une combinaison à une autre.

34. *Mouvements simultanés; organes moteurs.* — Les mouvements simultanés de l'image solaire initiale devant la première fente et de la plaque photographique correspondant à la chambre utilisée, devant la seconde, sont obtenus en déplaçant l'objectif de projection et le porte-plaque, à l'aide de moteurs électriques synchrones du type Baudot. Chaque pièce mobile est montée sur un chariot à billes, entraîné par un système vis-écrou, relié lui-même au moteur par un dispositif de démultiplication. Ce dispositif doit permettre de donner, aux deux pièces mues simultanément, des vitesses d'entraînement qui soient exactement dans le rapport des diamètres de l'image initiale à l'image finale; rapport qui n'est rigoureusement constant, dans une même combinaison, que pour une radiation donnée ⁽¹⁾. Il doit permettre également, le rapport convenable étant trouvé, de modifier les vitesses entre des limites assez étendues pour que les poses, d'un bord à l'autre de l'astre, soient appropriées à la transparence du ciel, à la nature des images enregistrées et à la sensibilité des plaques.

Pour réaliser la première condition, les vis d'entraînement v (fig. 6), des chariots porte-plaque sont munies d'une partie lisse sur laquelle peut glisser, sans tourner, un galet de friction g . Les deux plateaux p_1 , p_2 , soigneusement dressés sur leur face interne, sont animés, par le moteur, d'une vitesse angulaire constante, mais tournent en sens inverse. L'entraînement de g et de la vis v est assuré par des ressorts à boudin r qui pressent les plateaux contre l'arête du galet de manière à éviter tout glissement de celle-ci. Un débrayage d permet de supprimer l'action des ressorts et de libérer g . La distance entre l'arête du galet et l'axe commun aux deux plateaux peut être repérée, à moins de 0^{mm},1 près, à l'aide d'une division

⁽¹⁾ Les variations de foyer des lentilles simples employées dans les chambres I, II, III, IV *bis*, changent, en effet, d'une manière très sensible le rapport considéré, entre le rouge et le violet.

tracée sur la partie lisse de ν et d'un tambour d'interpolation monté sur g . Grâce à cette disposition, on peut faire varier la vitesse d'entraînement de quantités aussi petites que l'on veut et dans des proportions exactement connues.

Les changements simultanés des vitesses, d'autre part, sont assurés

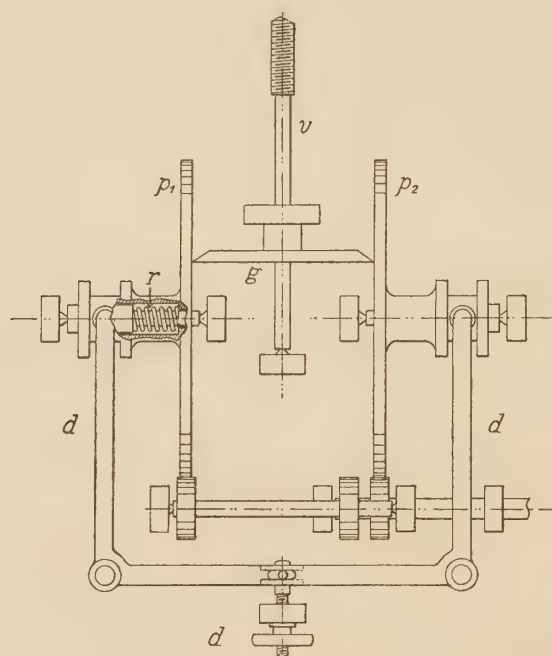


Fig. 6. — Schéma d'un transformateur de vitesse (*Vue en plan*).

par des trains baladeurs, intercalés entre les organes décrits ci-dessus et les moteurs. Chaque train comporte cinq démultiplications différentes correspondant à l'échelle des poses les plus couramment employées. A l'objectif de projection, où la variation continue de la vitesse est inutile, le galet g et les plateaux sont remplacés par des engrenages d'angle, complétés par un second train baladeur qui double le nombre des combinaisons.

Quatre postes, comprenant chacun un moteur et le dispositif transformateur de vitesse, sont installés en permanence à l'objectif de projection et aux chambres I, II, IV *bis*. Trois interrupteurs permettent de faire fonctionner à volonté le premier avec l'un quelconque des trois autres. Un cinquième poste peut être associé, le cas échéant, à la combinaison III, plus souvent utilisée comme spectrographe que comme spectrohéliographe.

II. — Choix des raies.

35. *Catégories de raies à considérer.* — Les premières recherches faites avec un spectrohéliographe très dispersif sur les raies du fer $\lambda 4046$ et $\lambda 4384$, avaient montré (§ 28) que les plages faculaires et les flocculi du type H₁, K₁ disparaissaient presque complètement dans les images données par la partie médiane des raies. Celles-ci, par contre, offraient un réseau spécial de petites inégalités que le nombre restreint des clichés obtenus n'avait pas permis de définir plus clairement.

Il convenait donc d'abord, dans la nouvelle étude, de réisoler les raies déjà employées et de chercher à préciser, à l'aide d'épreuves plus nombreuses, faites, autant que possible, dans des conditions variées de l'activité solaire, les caractères de la nouvelle structure.

En second lieu, il était nécessaire d'étendre la recherche à d'autres éléments, les images fournies jusqu'ici par le calcium neutre, l'aluminium, etc., ayant été faites avec une dispersion trop faible pour révéler, s'il en existe, des caractères distinctifs.

Il importait également d'étudier des raies dont les niveaux de production soient aussi différents que possible, ces niveaux pouvant, eux aussi, avoir une influence sur l'aspect des détails observés.

Enfin, l'intensité exceptionnelle des plages faculaires et des flocculi dans les images des couches supérieures du calcium ionisé, rendait désirable de comparer à ces images celles que pourraient fournir d'autres vapeurs ionisées, confinées dans les couches basses de la chromosphère.

Les niveaux des vapeurs sont, d'après Saint-John (§ 12), liés aux intensités des raies : les raies faibles étant produites dans les couches basses, les raies intenses, dans les couches élevées. Bien que cette conclusion ait été récemment mise en doute par A. Unsöld [13], elle s'appuie sur un ensemble de faits concordants qui la rendent très vraisemblable. Nous pouvons donc l'admettre, tout au moins provisoirement, et ramener la recherche d'une influence possible des niveaux à l'étude des images données par des raies d'intensités différentes.

J'ai pensé, d'ailleurs, que le spectrohéliographe pourrait lui-même fournir un moyen de préciser, tout au moins au bord solaire, le niveau correspondant à chaque raie isolée par la comparaison des diamètres des images obtenues successivement avec la lumière de cette raie et celle du spectre continu voisin ⁽¹⁾.

(1) H. Deslandres a noté [56], en 1905, que le diamètre des images du calcium (K₂) était un peu plus grand que celui des images du disque, obtenues sans spectroscopie.

La méthode présente l'avantage de faire intervenir deux fois la quantité à mesurer et, par suite, de doubler la précision de la mesure. Elle permet aussi d'éliminer une des causes pour lesquelles les saillies des raies sont invisibles dans les conditions habituelles, savoir : la grande différence d'éclat entre ces saillies et le spectre continu; car on peut graduer les poses des images à comparer de manière à donner à celles-ci des intensités sensiblement égales. Reste le bouillonnement des images dû à l'agitation de notre atmosphère et que le spectrohéliographe ne peut évidemment atténuer. Nous verrons au Chapitre III que la méthode, appliquée aux principales raies étudiées ici, a donné néanmoins des résultats concordants qui, dans l'ensemble, confirment l'exactitude de la conclusion de Saint-John.

En résumé, les considérations précédentes conduisent à isoler :

1^o Des raies de même importance ou d'importance analogue appartenant à des éléments variés (influence de l'élément);

2^o Des raies d'importances diverses, appartenant au même élément (influence du niveau);

3^o Des raies de vapeurs ionisées.

36. *Conditions limitatives. Raies finalement retenues.* — L'intervalle dans lequel les raies peuvent être choisies se trouve à peu près limité, pour le grand spectrohéliographe de Meudon, à la région visible du spectre. Vers l'ultraviolet, en effet, l'absorption par les pièces optiques ne permet guère de dépasser $\lambda 3800 \text{ \AA}$. Vers l'infrarouge, l'instrument reste utilisable, mais la sensibilité des plaques devient très vite insuffisante.

Entre $\lambda 3800$ et $\lambda 7500$, on trouve 22 raies dont l'intensité, d'après Rowland [2], atteint ou dépasse 15. Elles appartiennent à 5 éléments différents. Les raies d'intensité inférieure à 15 sont, bien entendu, très nombreuses. Mais le choix est limité, dans cette direction, aux raies assez larges pour être isolées correctement dans la fente sélectrice de l'appareil. Pratiquement, il ne faut pas descendre au-dessous de l'intensité 5.

Dans le même intervalle, il n'existe, en dehors des raies H et K, aucune raie d'élément ionisé d'intensité supérieure à 8.

Les raies retenues doivent être, autant que possible, bien dégagées des raies parasites qui pourraient modifier ou même masquer les caractères propres aux images données par leurs différentes parties. Cette condition restreint singulièrement le nombre des raies à inscrire dans la liste. Au surplus, les observations relatives à une seule raie sont, comme nous le verrons plus loin, déjà longues et il était nécessaire, de toutes façons, de réduire au strict essentiel le nombre des raies choisies. Finalement, je me suis arrêté à la liste suivante :

TABLEAU V.

Élément et λ .	Intensité de Rowland.	Observations.
Mg 3838,304	25	Ailes fortes.
Fe 4045,827	30	» fortes.
Sr II 4077,726	8	» faibles.
Fe 4104,135	5	» faibles.
Fe 4132,069	10	» moyennes.
Fe 4143,880	15	» moyennes.
Fe 4202,042	8	» faibles.
Ca 4226,742	20	» fortes.
Fe 4383,559	15	» fortes.
Mg 5183,621 (b_1)	30	» fortes.
Na 5889,977 (D_2)	30	» moyennes.

Soient :

1° Cinq raies d'intensités voisines (20 à 30) appartenant à quatre éléments différents; sodium, magnésium, calcium, fer;

2° Six raies appartenant au fer et dont les intensités sont échelonnées entre 5 et 30;

3° La première raie de la série principale du strontium ionisé.

La raie ultraviolette du magnésium, bien que d'importance à peu près égale à la raie verte b_1 , a été notée par S.-A. Mitchell [57] comme atteignant, dans le spectre-éclair, un niveau beaucoup plus élevé. Elle n'appartient pas, il est vrai, à la même série spectrale. C'est, à la fois, pour essayer de vérifier, au spectrohéliographe, cette différence de niveau et pour rechercher son influence éventuelle sur l'aspect des images, que j'ai introduit la raie λ 3838 dans la liste ci-dessus.

La raie du fer λ 4202, d'intensité 8, a été choisie spécialement pour la comparaison avec la raie Sr II 4078, de même intensité.

III. — Méthode d'observation.

37. *Choix de la dispersion et du système dispersif.* — En nous appuyant sur l'analogie d'aspect qui existe, au bord solaire, entre les raies de niveaux élevés — calcium ionisé et hydrogène — et les raies de la couche renversante (§ 10), nous pouvons supposer que la partie médiane de celles-ci comprend une composante d'indice 3, bordée de deux composantes d'indice 2, la division étant pratiquement invisible avec le simple spectro-

graphe ⁽¹⁾. Nous pouvons supposer également, *a priori*, que chacune de ces composantes donnera, au spectrohéliographe, une image distincte, que les recherches préliminaires de 1907 et de 1909 n'avaient pu mettre en évidence, faute d'une exploration suffisamment serrée. Or, la largeur totale de la partie médiane, pour les raies sélectionnées dans ce travail, est comprise entre $0,10 \text{ \AA}$ et $0,25 \text{ \AA}$ ⁽²⁾. On voit qu'une fente sélectrice très étroite (en ångströms), va être nécessaire pour réaliser une séparation à peu près complète des images.

D'autre part, sa largeur (en millimètres) ne peut guère être amenée au-dessous de $0^{\text{mm}},05$. La fente est constituée, en effet, par deux joues métalliques, taillées comme l'indique la figure 7. L'épaisseur des régions



Fig. 7. — Coupe d'une fente sélectrice.

amincies est d'environ $0^{\text{mm}},5$. Quand les joues sont rapprochées à $0^{\text{mm}},05$, l'intervalle qui les sépare devient, pour le faisceau, une sorte de couloir dont la longueur atteint 10 fois la largeur. La diffusion et les réflexions multiples, sur les aspérités de ce couloir, prennent alors une grande importance relative et la précision de la sélection s'en ressent. D'ailleurs, si bien taillées que soient les joues, on ne peut espérer les amener au contact à moins de $1/100^{\text{e}}$ de millimètre près. Leurs irrégularités, encore peu sensibles pour une ouverture de $0^{\text{mm}},05$, se traduisent, pour des ouvertures plus faibles, par des stries ou des bandes d'intensités différentes sur les clichés, très gênantes pour la comparaison précise des détails de ceux-ci.

Dans ces conditions, on voit, d'après le Tableau III, que, non seulement l'emploi de la combinaison IV s'impose, mais que, au moins dans la région peu réfrangible du spectre, sa dispersion sera encore insuffisante.

J'avais songé un moment à employer, dans cette région, le second spectre du réseau, mais j'ai dû abandonner cette idée, le spectre de premier ordre étant, seul, assez lumineux pour que la durée des poses conserve une valeur admissible.

Les dispersions linéaires données par les prismes et par le premier ordre du réseau, sont les mêmes pour $\lambda 5100$ (fig. 5). Mais l'intensité du spectre, avec ce dernier, est environ trois fois plus faible que l'intensité du spectre prismatique. Cette raison m'a conduit à prolonger l'emploi des prismes

(1) Bien que L.-E. Jewell ait signalé, comme nous l'avons noté au paragraphe 10, que la plupart des raies possédaient, aux lisières de la partie médiane, de légers renforcements brillants, analogues à ceux de H et K.

(2) Avec le pouvoir de résolution *usuel* de la chambre de 7^{m} .

jusqu'à Mg 5184, incluse. Le réseau n'a été utilisé que pour Na 5890 et pour les raies infrarouges du calcium ionisé, dont nous nous occuperons au Chapitre V.

38. *Courbure des raies.* — La connaissance précise des positions relatives de la fente sélectrice et de la raie étudiée, au commencement et à la fin de chaque pose, avait, dans le présent travail, une importance particulière. Nous venons de voir, en effet, que la dispersion la plus forte du spectrohéliographe était encore à peine suffisante pour la recherche projetée; dans ces conditions, le moindre écart initial, le plus petit déplacement de la raie pendant la pose, pouvaient modifier considérablement les résultats obtenus. Aussi, ai-je pris des précautions spéciales pour réaliser et maintenir un isolement des raies aussi correct que possible.

La difficulté était accrue du fait que les raies sélectionnées sont réparties sur une région spectrale étendue dans laquelle leur courbure, surtout quand

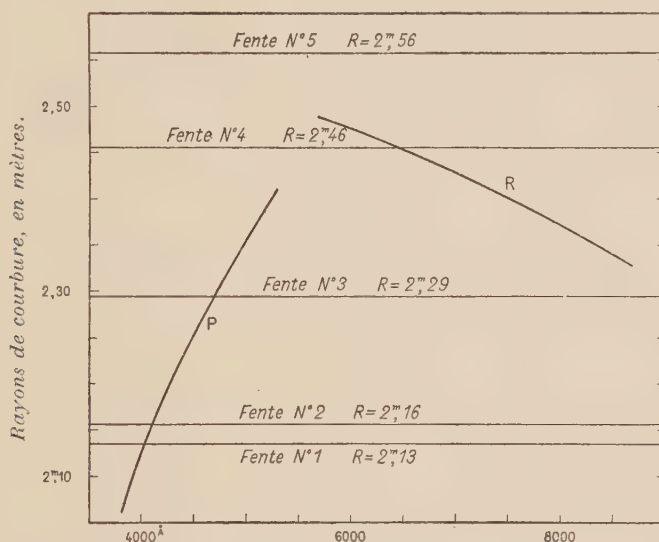


Fig. 8. — Variations, en fonction de la longueur d'onde et pour la chambre n° IV, du rayon de courbure des raies données par les prismes (P) et par le premier ordre du réseau (R). Correspondance avec les rayons de courbure des diverses fentes sélectrices.

on emploie les prismes, varie notablement. J'avais bien à ma disposition un jeu de cinq fentes sélectrices, de courbures différentes, constitué au moment de la création de l'instrument, pour l'étude des raies H_α (avec les prismes et le réseau), H_γ , H_δ et K ⁽¹⁾. Mais, au milieu des intervalles

⁽¹⁾ La différence de courbure n'est pas assez forte pour qu'il y ait lieu de changer en même temps la première fente du spectrohéliographe. La courbure de celle-ci a été calculée de manière que la compensation, qui permet d'obtenir des images exactement circulaires, soit réalisée au voisinage de λ 5000.

séparant ces radiations, la coïncidence des courbures n'était encore que très approximative (*fig. 8*). Cependant ces fentes, de 22^{cm} de hauteur, sont très délicates et coûteuses à construire; il ne pouvait être question, actuellement, de les retoucher ou d'en augmenter le nombre.

On peut modifier la courbure des raies données par des prismes, en écartant plus ou moins ceux-ci de la position correspondant au minimum de déviation. Mais, avec les prismes de Meudon, l'expérience a montré que le pouvoir résolutif, quand on employait ce procédé, diminuait assez vite. Cela tient sans doute au léger astigmatisme naturel des prismes qui ne permet pas au faisceau issu du collimateur de demeurer rigoureusement parallèle pendant toute la traversée des masses de verre.

Quoi qu'il en soit, j'ai préféré renoncer à corriger la courbure des raies et conserver à l'instrument tout son pouvoir de résolution. La différence de courbure est, d'ailleurs, tout à fait négligeable pour les raies Fe 4046, Sr II 4078, Fe 4104, Fe 4132, Fe 4144; elle ne prend une réelle importance que pour les raies situées vers le milieu de l'intervalle des longueurs d'onde auxquelles se rapportent les fentes utilisables. Au surplus, elle n'entraîne pas que des inconvénients : en premier lieu, elle fournit un moyen de contrôler avec précision les positions relatives de la fente et de la raie étudiée, déterminées par des pointés préalables. Du changement progressif de la longueur d'onde isolée, résulte, en effet, une variation continue de l'intensité du spectrohéliogramme, le long du diamètre vertical de celui-ci. L'intensité présente un ou deux minima suivant que la fente est en *ab* (*fig. 9*) ou en *cd*; la situation de ces minima, sur une série d'images obte-

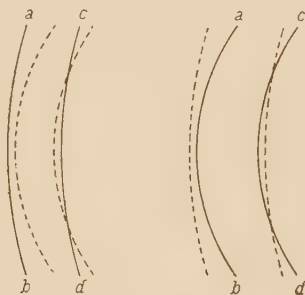


Fig. 9.

nues avec des positions très voisines de la fente sélectrice, fait connaître tout de suite les points de ces images pour lesquels la coïncidence exacte entre la fente et le milieu de la raie était réalisée. En second lieu, si, pour une raie donnée, l'aspect de l'image change rapidement avec la position de la fente, il est avantageux d'utiliser la variation continue de longueur d'onde le long du diamètre vertical, qui permet, en quelque sorte, d'inter-

poler entre les images obtenues sur les diverses parties de la raie et d'éviter ainsi que certains caractères du changement de structure puissent échapper.

Il est clair, toutefois, que ces éléments d'information ne peuvent être utilisés avec certitude que si l'on connaît exactement les différences de flèche entre la fente et la raie, suivant les hauteurs considérées de la fente sélectrice. Le Tableau VI donne une idée de ces différences, exprimées en millimètres et en ångströms, pour toutes les raies étudiées et pour les trois hauteurs de fente qui correspondent respectivement à la moitié, aux quatre-cinquièmes et à la totalité environ du diamètre vertical moyen des images enregistrées. Le calcul est fait en assimilant les raies à des arcs de cercle, ce qui constitue une approximation bien suffisante, eu égard à la précision exigée ici. Les fentes, par construction, sont elles-mêmes des arcs de cercle.

TABLEAU VI.

		Différences de flèche (Flèche raie-Flèche fente)					
		en millimètres.			en ångströms.		
Fente	Raies.	Hauteur.			Hauteur.		
N ^o		10 ^{cm} .	16 ^{cm} .	20 ^{cm} .	10 ^{cm} .	16 ^{cm} .	20 ^{cm} .
1.	Mg 3838	+0,018	+0,046	+0,072	+0,012	+0,030	+0,048
2.	Fe 4046	+0,004	+0,011	+0,018	+0,003	+0,009	+0,015
2.	Sr II 4078	+0,001	+0,004	+0,007	+0,001	+0,003	+0,006
2.	Fe 4104	0,000	-0,001	-0,001	0,000	-0,001	-0,001
2.	Fe 4132	-0,003	-0,006	-0,009	-0,003	-0,005	-0,008
2.	Fe 4144	-0,004	-0,010	-0,015	-0,004	-0,009	-0,013
2.	Fe 4202	-0,008	-0,020	-0,030	-0,008	-0,019	-0,028
2.	Ca 4227	-0,009	-0,024	-0,037	-0,009	-0,023	-0,036
3.	Fe 4384	+0,016	+0,040	+0,062	+0,018	+0,045	+0,069
4.	Mg 5184	+0,013	+0,034	+0,052	+0,026	+0,069	+0,106
5 (1).	Na 5890	+0,016	+0,042	+0,066	+0,030	+0,078	+0,123

39. *Isolement des raies.* — Les supports des fentes sélectrices correspondant aux diverses combinaisons du spectrohéliographe sont construites sur le modèle uniforme suivant : Une première coulisse C₁ (fig. 10), commandée par une vis micrométrique V₁, au pas de 0^{mm},5 et dont la tête est munie d'un tambour T₁, gradué en 100 parties, porte l'ensemble des deux joues et de leurs organes de réglage. Son mouvement, horizontal et perpendiculaire à l'axe optique de la chambre, permet de déplacer la fente devant le spectre et, les autres réglages étant effectués, d'isoler avec précision

(1) La fente n^o 4 étant assez irrégulière, c'est la fente n^o 5 qui a été employée pour isoler Na 5890, bien que sa courbure soit un peu moins bien appropriée à celle de la raie du sodium.

une radiation donnée. La monture de l'une des deux joues est fixée directement à C_1 ; l'autre est portée par une coulisse intermédiaire C_2 , parallèle à C_1 et fixée sur elle. Cette seconde coulisse est commandée par une vis V_2 et un tambour gradué T_2 , semblables à ceux de C_1 ; elle sert à donner à la fente la largeur convenable. Les diverses paires de joues peuvent être substituées facilement l'une à l'autre, grâce à des goupilles de repère com-

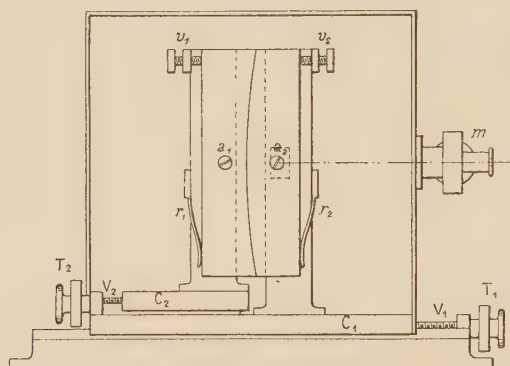


Fig. 10. — Schéma d'un porte-fente et de ses organes de réglage (*Vue en élévation*).

munes; elles sont montées sur des plaques de laiton, susceptibles elles-mêmes de tourner dans leur plan, de sorte qu'il est aisé de rendre les joues parallèles entre elles et aux raies du spectre; les mouvements de rotation sont commandés par des vis à tête graduée v_1 , v_2 et des ressorts antagonistes r_1 , r_2 . Ils s'effectuent autour des axes a_1 , a_2 , placés au milieu des joues.

Pour repérer, sur le tambour T_1 , la division correspondant à la coïncidence exacte entre le milieu d'une raie donnée et le milieu de la fente, ouverte à la largeur convenable, j'ai procédé habituellement de la façon suivante : après avoir amené chacune des deux joues à un parallélisme approché avec les raies, je donnais provisoirement à la fente une largeur de 0^{mm},3 ou 0^{mm},5, suivant l'importance de la raie à isoler et j'achevais de réaliser le parallélisme par des pointés successifs ⁽¹⁾ suivis de corrections aux vis v_1 et v_2 et exécutés à la hauteur des deux bords du Soleil, centré au préalable sur la première fente. Revenant ensuite au milieu de la fente sélectrice, je déterminais, après 5 ou 6 lectures, la division moyenne de T_1 pour laquelle la raie était encadrée exactement entre les deux joues. La fente était alors ramenée à l'ouverture de travail, 0^{mm},05 ou 0^{mm},06, en général, à l'aide du tambour T_2 et l'indication de T_1 corrigée de la demi-différence des largeurs employées successivement.

Pour la raie ultraviolette Mg 3838, le réglage était fait par l'intermédiaire

⁽¹⁾ Faits à l'aide d'une « loupe de mise au point » grossissant six fois.

d'un cliché pris — la seconde fente étant largement ouverte — sur la région du spectre contenant la radiation à isoler. La distance entre celle-ci et la joue commandée par T_1 était mesurée à l'aide d'un microscope à micromètre; les corrections de parallélisme et l'indication finale de T_1 se déduisaient des lectures faites à ce micromètre. Deux ou trois approximations, sur des clichés successifs, ont souvent été nécessaires pour que la précision réalisée soit du même ordre que celle du réglage visuel.

La coïncidence, une fois obtenue, ne se conserve pas très longtemps. Le déplacement des raies a pour cause principale ⁽¹⁾ les variations de température du système dispersif, éclairé par le faisceau solaire; il est surtout sensible avec les prismes, dans lesquels l'équilibre de température, au cours d'une journée d'observation, n'est pratiquement jamais atteint. Il était donc nécessaire de vérifier souvent le réglage. Un premier moyen consistait à employer le micromètre auxiliaire m (fig. 10), solidaire de C_1 et alimenté par un prisme à réflexion totale placé hors du faisceau passant dans la fente sélectrice, mais assez près de lui. Le champ du micromètre montre une région restreinte du spectre dans laquelle on peut repérer une raie et la maintenir en coïncidence avec le fil, en agissant sur T_1 , quand elle tend à se déplacer au cours d'une pose. Mais, pour certaines radiations à isoler, le champ, que la construction de l'instrument ne permet pas de modifier, était dépourvu de raies assez intenses ou assez fines pour être pointées correctement. Aussi, me suis-je contenté, en général, de répéter à la fin de chaque pose les pointés du début. Au cours d'une pose d'un quart d'heure, la correction atteignait rarement 2/100^{es} de millimètre; quand elle dépassait cette valeur, l'image était considérée comme insuffisante et recommencée. Avec la raie ultraviolette du magnésium, il était nécessaire d'attendre, pour connaître la correction, que le cliché du spectre — l'épreuve témoin — pris à la fin de la pose, soit développé et fixé. Pendant ce temps, le spectre continuait à se déplacer. Bien des poses ont été faites ainsi où la partie de raie isolée n'était pas exactement celle qui avait été prévue.

40. *Images pour la détermination de la courbe d'intensité des raies.* — Il était important, pour la comparaison de l'aspect des images données par les différentes parties des raies, que ces images fussent de densités sensiblement égales. Or, à l'époque où elles ont été faites, les courbes d'intensité des raies étudiées n'étaient connues qu'assez grossièrement et je ne pouvais

⁽¹⁾ Dans les poses faites d'un bord à l'autre du Soleil, l'effet Doppler-Fizeau, dû à la rotation de l'astre sur lui-même, intervient également. Il est, en moyenne, de $\pm 0^{\text{mm}},03$, c'est-à-dire à peu près de l'ordre des erreurs tolérées ici.

disposer que de données très approximatives pour régler les rapports entre les poses successives. Il convenait donc, avant tout, de chercher à préciser ceux-ci.

En fait, ce travail préalable revenait à déterminer, avec le spectrohéliographe lui-même, les courbes d'intensité des raies. Pour qu'elles aient quelque valeur, j'ai conduit les opérations de la manière suivante : un certain nombre de positions de la fente sélectrice, variable avec la largeur de la raie étudiée, étaient choisies à l'avance sur un cliché spectral, de manière à éviter toute raie parasite dont la présence aurait faussé les résultats. L'une, au moins, de ces positions, devait être assez éloignée du milieu de la raie pour que l'aile de celle-ci n'ait plus d'influence sensible et que l'intensité observée y soit réellement celle du spectre continu ⁽¹⁾.

Dans chacune des positions ainsi fixées, une série de trois ou quatre images était faite avec des poses graduées, d'abord largement échelonnées. La série correspondant au spectre continu était effectuée la première et répétée à la suite des autres, afin de mettre en évidence, s'il s'en produisait, des changements d'éclat du Soleil, entre le commencement et la fin de l'observation.

La précision de la méthode dépendait beaucoup de l'importance de ces changements. En vue de les éviter, les poses ne comprenaient qu'une portion limitée du disque de l'astre ⁽²⁾, la même pour les diverses images; elles étaient ainsi réduites au minimum. De plus, une série n'était entreprise que par temps clair et, autant que possible, vers le moment de la culmination du Soleil; elle était souvent recommencée plusieurs fois, à des jours différents. Il était rare, d'ailleurs, que, dès la première opération, on obtienne des poses d'opacités égales pour toutes les positions de la fente sélectrice considérées. Deux ou trois approximations successives étaient parfois nécessaires, que l'on combinait avec la répétition des observations.

Sauf pour la raie ultraviolette du magnésium, toutes les images ont été faites avec la lentille de 2^m à la chambre IV *bis*. La faible intensité du spectre, due à l'absorption par les prismes, à $\lambda 3838$, a nécessité l'emploi de la lentille de 1^m, 3, qui donne une concentration de lumière environ deux fois plus forte.

⁽¹⁾ Elle devait être néanmoins assez rapprochée, dans certaines régions du spectre, pour que les différences de sensibilité de la plaque ou les modifications de l'absorption, par les prismes du spectrohéliographe, ne puissent intervenir. Pour Mg 3838, où l'absorption est rapidement croissante vers l'ultraviolet, les images sur le spectre continu ont été faites de part et d'autre de la raie et c'est leur intensité moyenne qui a été considérée.

⁽²⁾ Le quart ou le cinquième, généralement.

41. *Reconnaissance et étude des structures.* — Les premiers résultats obtenus à Meudon en 1907 et en 1909 avec Fe 4046 et Fe 4384 avaient montré que l'aspect des images ne varie que lentement quand on déplace la fente sélectrice dans les ailes des raies; leurs caractères ne subissent de modifications rapides que dans la partie médiane ou au voisinage immédiat de celle-ci. Aussi, dans la présente étude, n'ai-je donné à la fente des positions jointives, ou même, se recouvrant partiellement, que vers le milieu des raies, doublant ou triplant l'intervalle dans les ailes. Cela faisait encore, pour les raies les plus larges, environ vingt positions différentes, avec lesquelles des spectrohéliogrammes devaient être obtenus.

Bien souvent, les images faites au préalable pour la détermination des courbes d'intensité ont également servi à fixer, en première approximation, les régions d'une raie où se révélaient des structures caractéristiques. Il ne restait plus qu'à achever de délimiter ces régions au moyen de quelques images supplémentaires que la meilleure connaissance des courbes d'intensité permettait d'obtenir dans les conditions les plus favorables.

Ce travail de reconnaissance terminé, une série d'images, comprenant une plus large portion du disque, ou même le disque complet, était effectuée dans les trois ou quatre positions de la fente sélectrice retenues au cours des essais préliminaires et répétée, autant que possible, dans des conditions variées de l'activité de l'astre.

42. *Séries spéciales d'images pour la détermination de la hauteur des vapeurs.* — Comme les précédentes, elles ont été faites avec la lentille de 2^m de la chambre IV *bis*, sauf pour la raie Mg 3838, où la lentille de 1^m,3 a été employée. Chaque série consistait en trois groupes de poses graduées, obtenus alternativement avec le spectre continu, au voisinage d'une raie; puis avec la partie médiane de la raie, puis, à nouveau, avec le spectre continu. Afin de tenir compte des différences de courbure précisées au paragraphe 38, l'indication du tambour T₁, pour les images de la partie médiane, était déduite des pointés de réglage effectués, non au milieu de la fente sélectrice, mais à la hauteur des bords inférieur et supérieur du disque solaire, centré sur la première fente. Pour les images sur le spectre continu, la fente sélectrice était placée à la position choisie auparavant dans la détermination de la courbe d'intensité de la raie. La connaissance préalable de celle-ci permettait de donner immédiatement le rapport convenable entre les poses moyennes des deux groupes d'images; la graduation des poses, dans chaque groupe, rendait d'ailleurs sans importance une petite erreur commise; elle fournissait même un nouveau moyen de préciser la valeur du minimum d'intensité au milieu de la raie.

Les différences des diamètres à mesurer étaient de l'ordre du $1/500^e$ soit environ $0^{mm}, 12$ sur les images les plus grandes. Il était donc spécialement nécessaire de n'enregistrer les séries alternées que dans les meilleures conditions possibles de calme atmosphérique. Une agitation, même moyenne, et qui serait sans influence sensible dans la recherche des caractères propres aux diverses structures, transforme le bord des images en une suite de hachures, sur lesquelles l'incertitude des pointés dépasse tout de suite la valeur des différences cherchées.

De plus, il ne fallait pas songer à mesurer un diamètre quelconque des spectrohéliogrammes, dont les variations accidentelles de longueur sont, en général et même avec un appareil très perfectionné, notablement supérieures aux quantités à évaluer.

D'une part, en effet, l'image initiale du Soleil, formée par l'objectif de projection supposé immobile, n'est jamais rigoureusement fixe sur la première fente de l'instrument; le contrôle électrique du cœlostat annule bien tout mouvement progressif de cette image vers l'Est ou vers l'Ouest, qui proviendrait d'un défaut de synchronisme entre le rouage et la pendule; mais il ne peut éviter un très léger mouvement d'oscillation, dû à une faible erreur périodique dans la vis tangente; ce mouvement, tout à fait insensible sur l'aspect des images courantes, prendrait ici une grande importance. De plus, quand le Soleil est loin du méridien, les effets différentiels de la réfraction astronomique ne peuvent être négligés, non plus que ceux de la variation de déclinaison de l'astre, vers l'époque des équinoxes.

D'autre part, en supposant même que l'image initiale demeure tout à fait stable, il peut arriver qu'elle soit légèrement déformée au cours de l'enregistrement. Comme nous l'avons vu au paragraphe 34, en effet, le rapport entre la vitesse d'entraînement de l'image initiale et celle de la plaque photographique dépend de la distance du galet g (*fig. 6*) à l'axe des plateaux p . Or, l'arête de ce galet n'a jamais une épaisseur nulle; il en résulte une petite incertitude sur sa distance *réelle* à l'axe des plateaux, qui entraîne parfois une légère ellipticité de l'image. Celle-ci ne dépasse pas, de ce fait, $1/500^e$, en général, mais cette quantité est déjà incompatible avec la précision dont nous avons besoin ici. Enfin, la compensation des courbures, entre les deux fentes du spectrohéliographe, n'est réalisée rigoureusement que pour une radiation, d'où, pour la plupart des images, une nouvelle cause de déformation appréciable.

Un seul diamètre échappe à ces diverses causes d'erreur : c'est le diamètre vertical, dont les deux extrémités passent en même temps sur la première fente. C'est sur lui exclusivement que les mesures ont porté. Cette circonstance a permis, d'ailleurs, de limiter chaque pose à la région centrale

du disque ⁽¹⁾ et de réduire ainsi beaucoup la durée totale d'une observation. Il était d'ailleurs nécessaire que celle-ci fût aussi courte que possible afin que, du commencement à la fin, les variations dans la mise au point de l'image initiale (§ 32) restent négligeables. Une série complète de poses alternées n'a jamais demandé plus de 1 heure. Le plus souvent, sa durée n'a pas dépassé 15 minutes. La mise au point, vérifiée avec soin au début et à la fin de l'opération, n'a, dans aucun cas, varié de plus de 1 mm.

43. *Organisation du travail. Clichés retenus.* — Le programme des observations courantes, au spectrohéliographe de Meudon, comporte l'enregistrement quotidien de quatre images différentes, savoir :

- Une image de la couche supérieure du calcium ionisé, avec la raie K_3 ;
- Une image de la couche, dite basse, du calcium ionisé, avec la raie K_1 ;
- Une image de la couche supérieure de l'hydrogène, avec la raie $H_{\alpha 3}$;
- Une image dite « des vitesses radiales », avec les raies K_2 et K_3 .

Les deux premières épreuves sont obtenues avec la combinaison n° I, la troisième, avec la combinaison n° II; pour la quatrième, on utilise, à nouveau, la combinaison n° I, aisément transformée en spectro-enregistreur des vitesses radiales.

Ce programme ne doit souffrir d'autres interruptions que celles dues au mauvais temps et l'étude spéciale des images données par les raies de la couche renversante, faite avec la combinaison n° IV, n'a pu être poursuivie que dans les intervalles laissés libres par l'obtention des épreuves courantes.

Lorsque le ciel est clair et sans nuages, celles-ci sont commencées 2 heures environ après le lever du Soleil; leur achèvement demande à peu près 1 heure et demie. Ce sont souvent les meilleurs moments de la journée, car la qualité des images astronomiques s'altère rapidement, en général, lorsque le Soleil s'élève au-dessus de l'horizon et elle ne redevient acceptable que dans les dernières heures de l'après-midi. Il y a eu presque toujours intérêt à consacrer le temps pendant lequel le Soleil est voisin du méridien, soit à des réglages préliminaires, soit, comme je l'ai déjà indiqué, à l'étude de la courbe d'intensité des raies, et à n'entreprendre que vers 15, 16 ou 17 heures, suivant la saison, les séries d'images destinées à la mesure de la hauteur des vapeurs ou à la reconnaissance des diverses structures.

⁽¹⁾ La circularité parfaite des images n'ayant plus lieu d'être respectée, je les ai volontairement déformées pour en augmenter la courbure au voisinage des points à mesurer et faciliter ainsi la détermination de la tangente au bord. A cet effet, j'ai donné à l'objectif de projection, pendant les poses, une vitesse d'entraînement double de celle qui aurait convenu pour obtenir une image circulaire.

La recherche a été commencée fin août 1926; elle n'a pu être qu'ébauchée jusqu'aux mauvais temps d'automne. Je l'ai reprise en 1927 et c'est au cours du printemps et de l'été que la plus grande partie des clichés a été obtenue. Quelques images avec Mg 3838 et Na 5890 ont été faites en juillet et août 1928. Les mois de juin et septembre de cette dernière année ont été consacrés à l'étude des raies infrarouges du calcium ionisé, dont il sera question au Chapitre V.

Les circonstances météorologiques, très défavorables dans la région parisienne au cours des mois de juin, juillet, août et septembre 1927, ont fréquemment troublé l'emploi du temps indiqué plus haut. Quand le ciel était pur, les images astronomiques étaient, presque toujours, anormalement mauvaises, de sorte que beaucoup de clichés perdaient de leur intérêt. Bien souvent, la combinaison IV, substituée aux combinaisons I ou II et les réglages relatifs à l'isolement d'une raie — toujours assez longs — achevés, le ciel se couvrait et il fallait démonter l'appareil sans l'avoir utilisé, et le préparer à nouveau pour les photographies courantes du lendemain.

Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que, malgré un travail assidu totalisant 10 mois d'observation, le programme projeté n'ait pas été tout à fait rempli.

Les séries les plus complètes d'images sont celles qui se rapportent aux raies Mg 3838, Sr II 4078, Fe 4202 et Ca 4227. Par contre, l'étude de Fe 4104 et Fe 4132 n'a pu être poussée au delà de la première reconnaissance.

Des lacunes plus importantes existent dans les séries alternées faites en vue de mesurer la hauteur des vapeurs, qui exigent à la fois un calme atmosphérique à peu près parfait et une bonne transparence du ciel. A Meudon, ces deux conditions ont tendance à s'exclure : lorsque les images solaires sont calmes, le ciel est presque toujours brumeux. Bien que j'aie suppléé parfois à l'insuffisance des heures disponibles le soir, en opérant au début de la matinée, avant que ne soient effectuées les épreuves courantes, je n'ai pu obtenir de séries suffisamment nettes et dont les densités photographiques soient bien comparables, que pour sept des onze raies étudiées, savoir : Mg 3838, Sr II 4078, Fe 4202, Ca 4227, Fe 4384, Mg 5184 et Na 5890. Les raies provisoirement écartées appartiennent toutes au fer qui ne reste représenté que par deux raies, l'une intense et l'autre faible.

Le nombre total des clichés retenus est de 145, correspondant à 85 heures de pose effective, environ.



CHAPITRE III.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

44. *Divisions de l'exposé.* — La détermination de la courbe d'intensité des raies n'avait été entreprise, au début, que pour abréger les tâtonnements et faciliter ainsi la recherche principale. Mais la méthode spectrohéliographique nouvelle (§ 40), employée ici, s'est révélée plus efficace qu'on ne l'avait escompté d'abord; et sa précision a paru comparable à celle que fournissent les microphotomètres enregistreurs. De plus, la forme des courbes obtenues s'est montrée en relation étroite avec les variations d'aspect des images. Il ne m'a pas semblé inutile, dans ces conditions, de consacrer la première partie de ce chapitre à l'exposé détaillé des résultats relatifs aux courbes d'intensité des raies étudiées. Les deux autres parties traitent, respectivement, des structures des différentes images et de la hauteur des vapeurs.

I. — Courbes d'intensité des raies.

45. *Estimation des opacités et passage aux intensités.* — L'estimation des opacités égales a d'abord été faite sans instrument spécial, en examinant simplement les clichés dans un éclairage homogène. Elle était facilitée par la graduation des poses, dans chaque position de la fente; par contre, elle était gênée par la non-uniformité du fond, dans les positions où la structure de l'image était le plus marquée.

Ce procédé pouvait paraître un peu sommaire; j'ai pu en contrôler la précision à l'aide d'un microphotomètre à cellule photo-électrique, de Chalonge et Lambert, installé depuis peu à Meudon. L'instrument n'a pas été employé comme enregistreur, mais comme opacimètre : un rectangle de 8^{mm} sur 4^{mm}, environ, était choisi dans chaque image à étudier et celle-ci disposée de manière que le rectangle soit éclairé uniformément; les opacités étaient déduites directement des élongations du spot; comme elles

différentes les unes des autres, l'erreur commise du fait que la loi de noircissement des plaques n'était pas connue avec précision était peu importante. Les déterminations, faites par M^{lle} Roumens, sont en bon accord général avec la première estimation, à simple vue.

Les clichés avaient été pris sur trois sortes de plaques : « Σ », de l'Union photographique industrielle Lumière et Jouglé (L Σ), pour le bleu et le violet; « Rapid Process Panchromatic », des établissements Ilford (IPP), ou « Panchromatiques » des établissements Guilleminot, Bœspflug et C^{ie} (GP), pour le vert et le jaune. Le coefficient p de Schwarzschild, dans la relation $O = KIT^p$ (O , opacité; I , intensité; T , temps; K , constante), n'a pas été déterminé directement sur les plaques employées. Pour les L Σ , un travail récent de M^{lle} M. Hanot et M. H. Guillemet [58] fixe sa valeur à 0,87. D'autre part, d'après quelques essais, non publiés, entrepris par H. Grenat, assistant à Meudon, en utilisant le spectrohéliographe pour graduer les poses, il serait compris entre 0,75 et 0,85. J'ai adopté la valeur 0,80, dont l'approximation est, très probablement, en accord avec celle des évaluations d'opacité. Pour les plaques orthochromatiques, la valeur de p est plus incertaine et paraît changer davantage avec les émulsions. Elle serait, d'après Grenat, voisine de 0,87, aussi bien pour les plaques IPP que pour les plaques GP. C'est cette valeur qui a été adoptée ici.

46. *Résultats détaillés.* — Le Tableau VII donne, pour huit des onze raies étudiées ⁽¹⁾, les résultats de l'estimation à vue (Iv) et des mesures à l'opacimètre (Io). Les intensités, à des distances égales de part et d'autre du milieu des raies, ont paru souvent présenter quelque dissymétrie. Toutefois, dans la majorité des cas, celle-ci était de l'ordre des erreurs de mesure et le Tableau donne simplement les valeurs moyennes; la distance au milieu de la raie, dans la première colonne, est alors précédée du signe $\pm$. Lorsque la présence de raies parasites ou l'insuffisance des clichés n'a pas permis de déterminer l'intensité sur les deux côtés de la raie, le signe $\pm$ est remplacé par + ou par —, suivant le côté auquel se rapporte la mesure. Sur les raies Sr II 4078 et Fe 4202, la dissymétrie, soupçonnée seulement dans l'estimation à vue, pour laquelle les valeurs moyennes sont seules reproduites, s'est révélée assez nette à l'opacimètre et il a semblé nécessaire de séparer, dans la colonne correspondante, les nombres se rapportant aux côtés violet (V) et rouge (R) de ces raies. Les intensités sont exprimées en centièmes de l'intensité du spectre continu voisin.

⁽¹⁾ Le nombre des images utilisables obtenues avec les raies du fer λ 4104, λ 4132 et λ 4144 est trop insuffisant pour qu'il soit possible d'en déduire des courbes précises.

TABLEAU VII.

RÉPARTITION DE L'INTENSITÉ DANS DIVERSES RAIES DE LA COUCHE RENVERSANTE (1).

DISTANCE au milieu de la raie.	Iv.	I ₀ .		DISTANCE au milieu de la raie.	Iv.	I ₀ .		DISTANCE au milieu de la raie.	Iv.	I ₀ .	
		V.	R.			V.	R.			V.	R.
Mg 3838.											
2 ^e fente = 0 ^{mm} ,08 = 0 ^Å ,05.											
LΣ, p = 0,80.											
Å				Å				Å			
0,00	13			0,00	22	24		0,00	14	16	
±0,03	16			-0,02		23		±0,03		17	
±0,05	17			±0,04		28	38	±0,07	18	20	
±0,07	19			±0,05	27	30	34	±0,09	22	25	
±0,10	20			±0,07		37	40	±0,13		29	
±0,13	25			-0,09	36	48		±0,17	29	29	
+0,20	29			-0,14	44	57		±0,22		29	
+0,25	36			-0,19	54	66		±0,28	35	35	
+0,30	37			-0,23	62	66		±0,34		47	
+0,38	45			-0,28		66		-0,45	47	52	
+0,49	52			-0,38	69	79		-0,56		50	
±4,19	100			-0,47	83	89		-0,67	58	65	
				-0,94		95		-2,24	100	100	
				-1,88	100	100					
Fe 4202.											
2 ^e fente = 0 ^{mm} ,05 = 0 ^Å ,05.											
LΣ, p = 0,80.											
Fe 4384.											
2 ^e fente = 0 ^{mm} ,03 à 0 ^{mm} ,05											
= 0 ^Å ,03 à 0 ^Å ,06.											
LΣ, p = 0,80.											
Mg 4046.											
2 ^e fente = 0 ^{mm} ,05 = 0 ^Å ,04.											
LΣ, p = 0,80.											
Å				Å				Å			
0,00	20	17		0,00	13	13		0,00	21	20	
±0,04	23	21		±0,02		13		±0,08	28	26	
+0,08	30		28	±0,05	17	17		-0,15	30	32	
+0,12	40		35	±0,07		22		-0,26		37	
+0,16			40	±0,10	21	23		-0,31	39	39	
+0,20	49			+0,15	26			-0,36	39	38	
+0,32	71	57		+0,19	30		32	-0,51	54	55	
+0,46		84		+0,24	33		31	-0,77	62	59	
+0,81	100	95		+0,29	38			-0,82	62		
+1,62	100		100	+0,39	48		45	-1,02	71	74	
				-0,49	48	46		-1,53	91	87	
				-0,58	58	58		-3,06	100	100	
				-0,68	58	62					
				+0,97	68						
				+1,70	100						
				+2,33	100		100				
Ca 4227.											
2 ^e fente = 0 ^{mm} ,05 = 0 ^Å ,05.											
LΣ, p = 0,80.											
Mg 5184.											
2 ^e fente = 0 ^{mm} ,05 = 0 ^Å ,10.											
IPP, p = 0,87.											
Å				Å				Å			
0,00	20	17		0,00	13	13		0,00	21	20	
±0,04	23	21		±0,02		13		±0,08	28	26	
+0,08	30		28	±0,05	17	17		-0,15	30	32	
+0,12	40		35	±0,07		22		-0,26		37	
+0,16			40	±0,10	21	23		-0,31	39	39	
+0,20	49			+0,15	26			-0,36	39	38	
+0,32	71	57		+0,19	30		32	-0,51	54	55	
+0,46		84		+0,24	33		31	-0,77	62	59	
+0,81	100	95		+0,29	38			-0,82	62		
+1,62	100		100	+0,39	48		45	-1,02	71	74	
				-0,49	48	46		-1,53	91	87	
				-0,58	58	58		-3,06	100	100	
				-0,68	58	62					
				+0,97	68						
				+1,70	100						
				+2,33	100		100				
Na 5890.											
2 ^e fente = 0 ^{mm} ,04 à 0 ^{mm} ,06											
= 0 ^Å ,07 à 0 ^Å ,11.											
GP, p = 0,87.											
Å				Å				Å			
0,00	24	28		0,00	13	13		0,00	21	23	
±0,04		31	34	±0,02		13		±0,10	29	27	
±0,08	37	36	41	±0,05	17	17		-0,19	45	45	
+0,13			48	±0,07		22		-0,28	58	65	
±0,17	56	55	53	±0,10	21	23		+0,37	68	71	
±0,25	73	65	65	+0,15	26			+1,91	100	100	
±0,29	78	66	75	+0,19	30		32				
+0,92	100		100	+0,24	33		31				
				+0,29	38						
				+0,39	48		45				
				-0,49	48	46					
				-0,58	58	58					
				-0,68	58	62					
				+0,97	68						
				+1,70	100						
				+2,33	100		100				

(1) Tous les spectrohéliogrammes employés à l'étude des courbes d'intensité, ont été obtenus avec une première fente de 0^{mm},015.

Les graphiques (*fig. 11 à 18*), joints au Tableau, résument les mesures détaillées dans celui-ci. Les tracés microphotométriques obtenus sur les

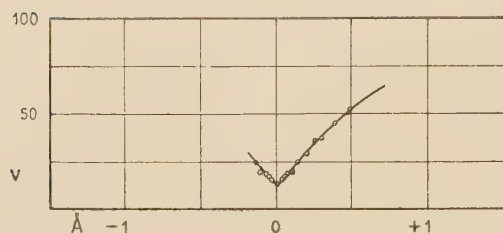


Fig. 11. — Mg 3838.

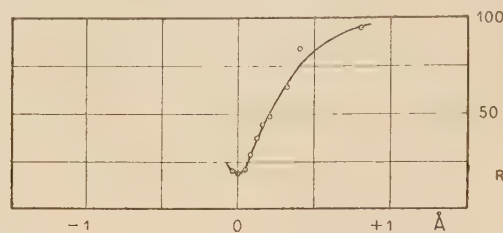


Fig. 12. — Fe 4046.

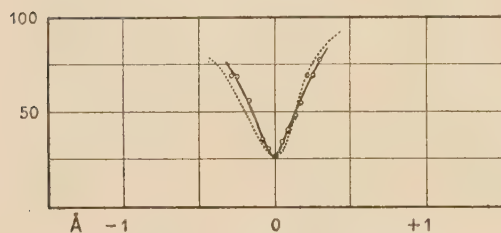


Fig. 13. — Sr II 4078.

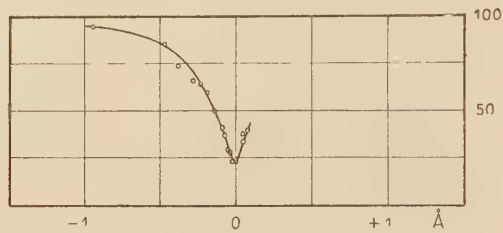


Fig. 14. — Fe 4202.

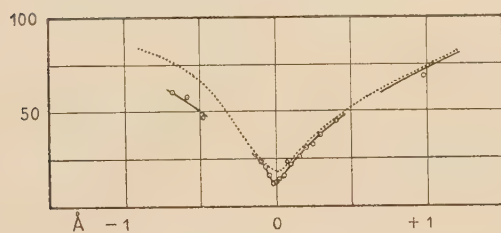


Fig. 15. — Ca 4227.

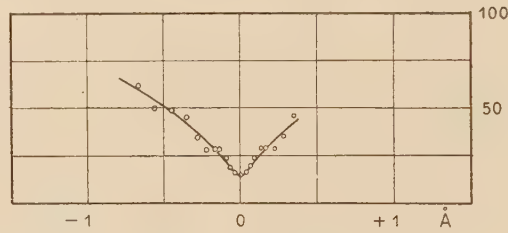


Fig. 16. — Fe 4384.

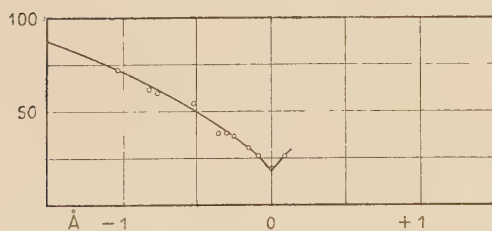


Fig. 17. — Mg 5184.

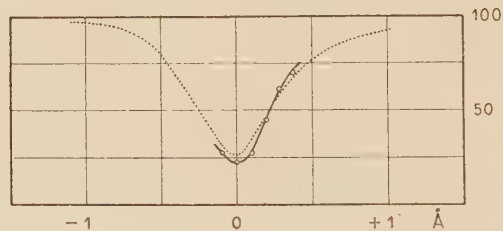


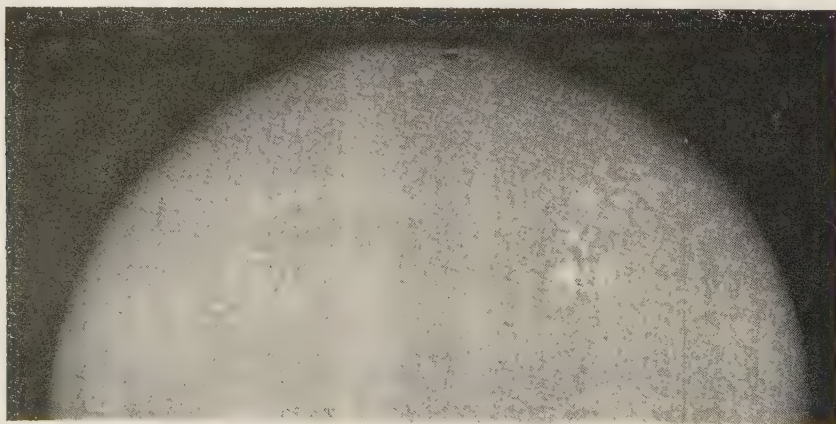
Fig. 18. — Na 5890.

Fig. 11 à 18. — Courbes d'intensité de diverses raies de la couche renversante, déterminées à l'aide du spectrohéliographe. L'ordonnée 100 correspond à l'intensité du spectre continu. En pointillé, pour les raies Sr II 4078, Ca 4227 et Na 5890, les courbes obtenues par A. Unsöld, au microphotomètre enregistreur.

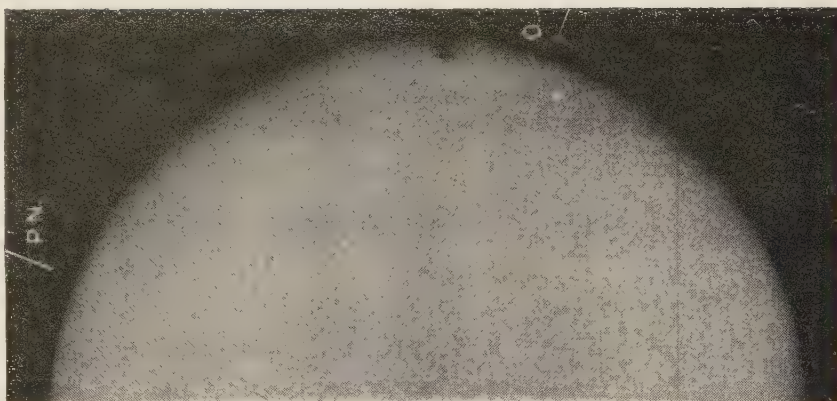
raies 4078, 4227 et 5890, par A. Unsöld (voir aussi *fig. 3*), qui n'a pas déterminé les courbes d'intensité des autres raies étudiées ici, ont été marqués en pointillé. Dans les trois cas, l'accord entre les deux méthodes est satisfaisant.

Images données par différentes parties de la raie Ca 4227,
le 17 mai 1957, de $9^h 25^m$ à $10^h 10^m$ (T. U.).

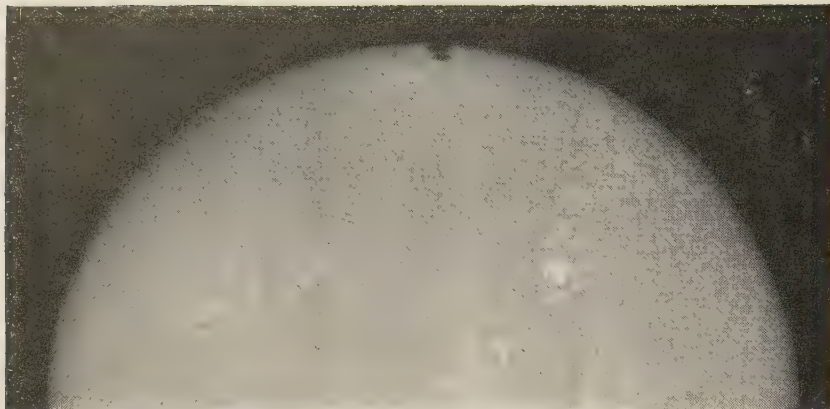
Pour les trois images $\left\{ \begin{array}{l} \text{Largeur de la 1}^{\text{re}} \text{ fente} = 0{,}0015, \\ \text{Largeur de la fente sélective} = 0{,}0015 \pm 0{,}05 \text{ Å.} \end{array} \right.$



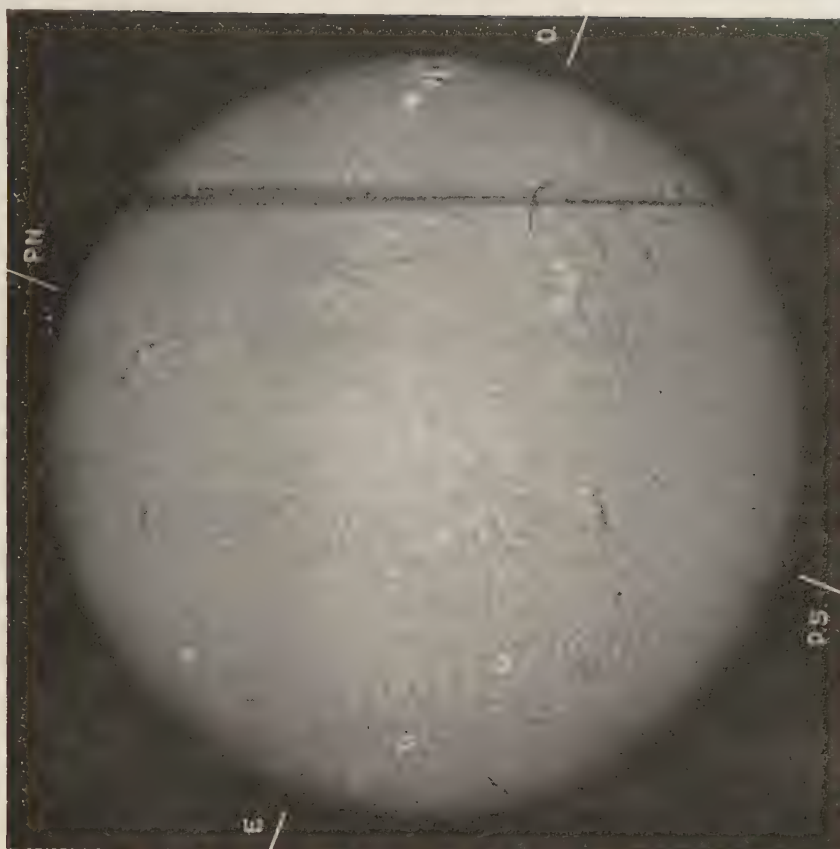
1. — Image axiale.



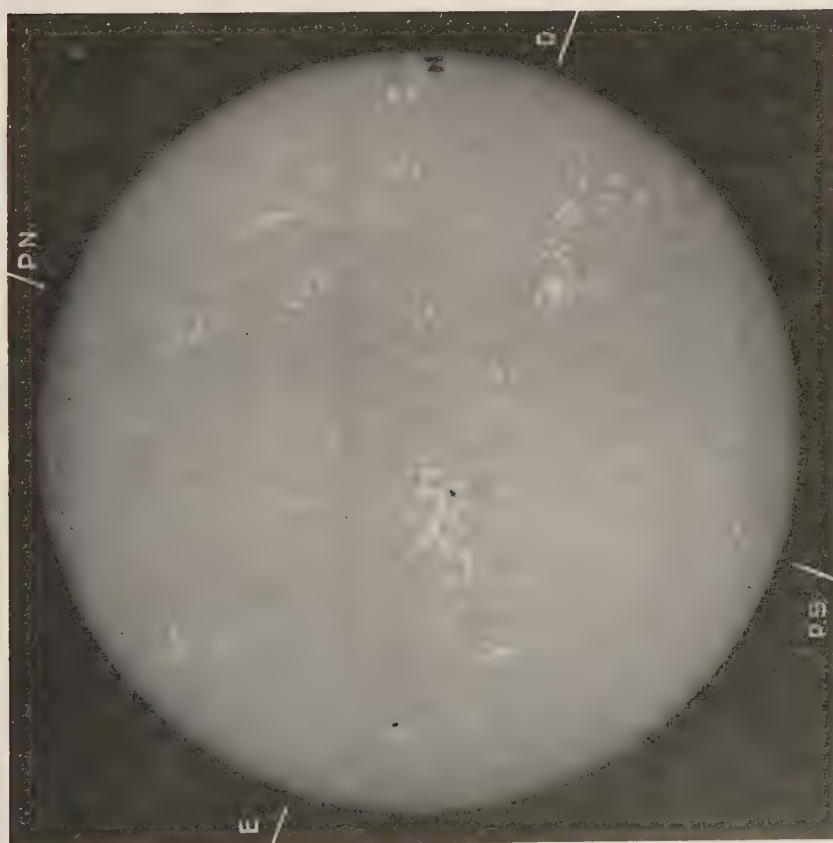
2. — Image à $-0{,}07 \text{ Å}$
du milieu de la raie (lisière).



3. — Image à $+0{,}19 \text{ Å}$
du milieu de la raie (aile).

2. — Image H_{α_2} obtenue le 17 mai 1937, de $\lambda = 6563$ à $\lambda = 6583$ Å.Largeur de la 1^{re} fente = 0,000,04

Largeur de la fente sélectrice = 0,000,003 Å

1. — Image K_{α} obtenue le 17 mai 1937, de $\lambda = 6583$ à $\lambda = 6603$ Å.Largeur de la 1^{re} fente = 0,000,03

Largeur de la fente sélectrice = 0,000,003 Å

II. — Structure des images.

47. *Répartition des raies en groupes donnant des résultats analogues.* — L'étude des diverses images obtenues conduit aux conclusions suivantes :

- 1° Les raies d'importance analogue, appartenant à des éléments différents, se comportent, au spectrohéliographe, de la même façon;
- 2° Les raies d'un même élément (fer), mais dont les ailes ont des importances différentes, se comportent de façons différentes;
- 3° La raie du strontium ionisé 4078 donne des résultats voisins, mais non identiques, à ceux de la raie du fer de même importance, 4202.

J'ai donc, pour la description de l'allure générale des phénomènes observés, réparti les onze raies étudiées en quatre groupes, savoir :

1.	2.	3.	4.
Mg 3838	Fe 4132	Fe 4104	Sr II 4078
Fe 4046	Fe 4144	Fe 4202	
Ca 4227	Na 5890		
Fe 4384			
Mg 5184			

Le premier groupe contient toutes les raies à ailes fortes; le second, les raies à ailes d'importance moyenne; le troisième, les raies à ailes faibles; dans le quatrième, enfin, entre seulement la raie du strontium ionisé.

Bien que les raies d'un même groupe donnent des résultats très comparables, les images fournies par leurs parties correspondantes révèlent souvent des différences de détail. J'ai noté les principales dans les paragraphes qui suivent et, afin de les mieux mettre en évidence, j'ai traduit par des courbes, pour chaque raie, les phases de la visibilité des diverses structures, suivant les positions successives de la fente sélectrice.

48. *Images données par les raies du groupe 1.* — 1° Lorsque la fente sélectrice coïncide avec le milieu des raies (¹), les images offrent (*Pl. VI*, case 1, p. 68), mélangées à une faible granulation, des plages faculaires et des flocculi brillants, qui semblent identiques à ceux de H₁, K₁ (*Pl. VII*, case 1, p. 68) mais d'une intensité relative moindre.

2° Dans une région étroite, située près de la lisière la plus réfrangible

(¹) Pour abrégé, j'appellerai désormais *images axiales*, les images obtenues dans ces conditions.

des raies, plages et flocculi disparaissent presque complètement. La structure granulaire, peu visible dans le cas précédent, devient très marquée et subsiste à peu près seule, uniformément répartie sur tout le disque (*Pl. VI*, case 2, p. 68). Dans la région symétrique, située près de la lisière la moins réfrangible des raies, on observe aussi un affaiblissement des plages et des flocculi et un renforcement de la granulation, mais ce dernier est moins net.

3° Au delà des lisières, dans les ailes, la structure granulaire s'efface rapidement. Plages et flocculi brillants réapparaissent, passent par un maximum relatif d'éclat (*Pl. VI*, case 3, p. 68) et disparaissent à nouveau quand l'intensité de l'aile atteint, approximativement, les deux tiers de l'intensité du spectre continu voisin. Les images deviennent alors semblables aux photographies directes du Soleil, obtenues avec un photo-héliographe.

Les résultats relatifs à la visibilité des plages faculaires se rapportent aux régions centrales du disque. On sait, en effet, que les images de la surface montrent encore des plages brillantes près du bord de l'astre.

La granulation, observée sur toute la largeur de la partie médiane, se distingue nettement de la granulation photosphérique, dont les éléments sont quatre ou cinq fois plus petits. Par contre, son aspect se rapproche beaucoup de la granulation H_{α_2} , H_{α_3} (*Pl. VII*, case 2, p. 68). Comme celle-ci, elle donne l'impression d'être composée de grains sombres sur fond brillant (§ 20). Toutefois, aucune trace des *Solar Vortices* de l'hydrogène n'est visible autour des taches et les images ne montrent aucun filament. Cette dernière particularité était d'ailleurs attendue, les éléments métalliques étudiés ici n'étant pas, habituellement, présents dans les protubérances.

Ainsi, les premiers résultats de 1907-1909 ne sont que partiellement confirmés. L'affaiblissement des plages faculaires se produit, non pas au milieu des raies, mais dans deux régions symétriques situées aux lisières de la partie médiane. Ce fait nouveau est important, comme nous le verrons au chapitre suivant. D'autre part, le réseau de petites inégalités devient une granulation marquée qui s'apparente à la granulation déjà reconnue sur les images H_{α} de l'hydrogène.

Sur les graphiques ci-contre (*fig. 19 à 23*), les courbes en trait plein représentent la visibilité des plages faculaires; celles en pointillé, la visibilité de la granulation. Les visibilités sont cotées, dans chaque cas, de 0 à 5; l'indice 5 s'appliquant, soit à des plages d'éclat relatif égal à celui des plages H_1 , K_1 , à $1,5 \text{ \AA}$ du milieu de la raie, soit à une granulation aussi

marquée que la granulation $H_{\alpha\beta}$. J'ai ajouté, en trait discontinu, la courbe d'intensité de chaque raie, d'après les déterminations faites au spectrohéliographe et détaillées au paragraphe 46.

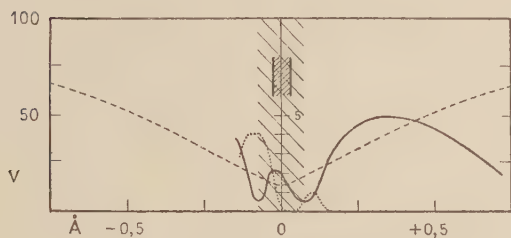


Fig. 19. — Mg 3838.

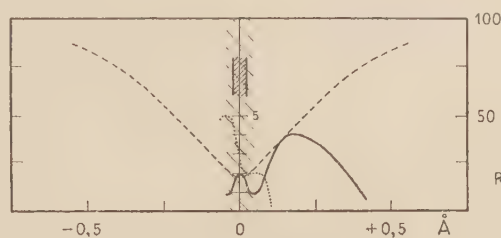


Fig. 20. — Fe 4046.

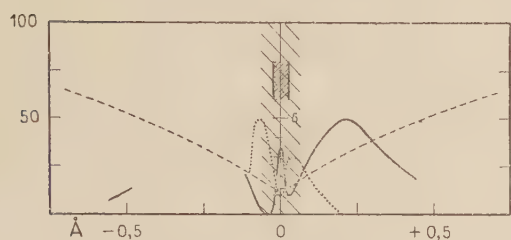


Fig. 21. — Ca 4227.

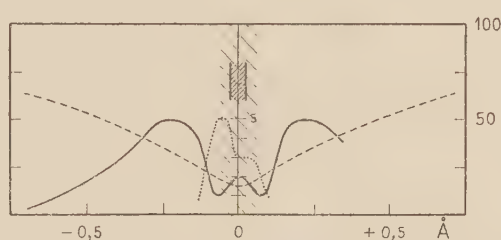


Fig. 22. — Fe 4384.

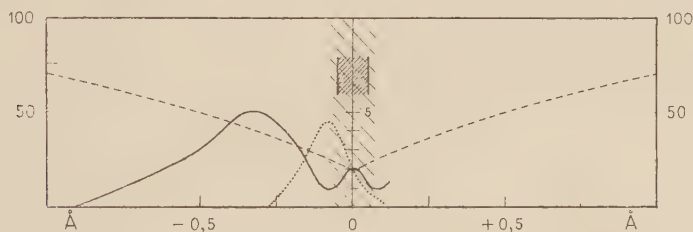


Fig. 23. — Mg 5184.

Fig. 19 à 23. — Courbes de visibilité des plages faculaires (trait plein) et de la granulation (pointillé), en fonction de la distance à l'axe des raies.

Groupe 1 : raies à ailes fortes.

Dans chaque figure, les visibilités sont comptées de 0 à 5, sur l'échelle du milieu. Le trait discontinu reproduit la courbe d'intensité obtenue à l'aide du spectrohéliographe, la valeur de l'intensité, rapportée à celle du spectre continu voisin, se lisant sur les échelles latérales, comme dans les figures 11 à 18. Des hachures espacées marquent, approximativement, la partie médiane telle qu'elle est déterminée par les mesures directes sur les spectrogrammes. La largeur de la fente sélectrice, à peu près constante en millimètres, mais variable en ångströms avec la région spectrale, est représentée par des hachures serrées, limitées par des traits épais.

Les premières images axiales données par la raie Ca 4227 avaient paru montrer que les plages y étaient plus marquées que dans les images correspondantes fournies par les autres raies. Sur la planche VI, par exemple, elles sont à peu près aussi intenses que les plages des ailes. Les épreuves ultérieures n'ont pas confirmé nettement cet aspect exceptionnel ⁽¹⁾. Celui-ci pouvait

⁽¹⁾ Il se traduit néanmoins sur la courbe (fig. 21), qui donne la visibilité moyenne, déterminée d'après toutes les images.

tenir, soit à une définition particulièrement bonne, soit encore au Soleil lui-même. Certains jours, les images axiales des diverses raies ont à peine montré les plages brillantes. D'autres jours, au contraire, celles-ci apparaissaient vigoureusement sans qu'elles se révèlent cependant d'une intensité spéciale sur les images du calcium ionisé. Seule, une longue série d'épreuves, faite dans les conditions les plus diverses, permettra d'être fixé définitivement sur la cause réelle de ces variations.

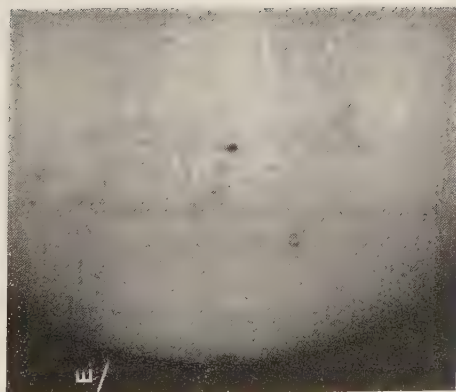
La différence dans la visibilité de la granulation aux deux lisières de la partie médiane est à peu près constante pour les cinq raies. Par contre, la visibilité, sur les images axiales, est très variable d'une raie à l'autre. D'une façon générale, elle est d'autant plus forte que la fraction de la partie médiane isolée dans la fente est elle-même plus grande. Ainsi, pour Mg 5184, la visibilité de la granulation, sur l'axe, est meilleure que près de la lisière « rouge »; le minimum est remplacé par une inflexion. Or, cette raie est située dans la région du spectre où la dispersion linéaire de l'instrument est le plus faible, de sorte que la fente isole les deux tiers environ de la partie médiane. Par contre, le minimum paraît nul pour Mg 3838, où la dispersion, beaucoup plus forte, permet de réaliser une sélection bien meilleure. Cette dernière raie présente, de plus, une particularité curieuse, vérifiée sur toutes les épreuves et qui, par suite, semble bien réelle : la position du minimum est légèrement décalée vers le rouge par rapport à l'axe de la raie. Au contraire, le maximum de visibilité des plages brillantes est décalé d'une quantité à peu près égale vers le violet.

49. *Images données par les raies du groupe 2.* — L'allure générale des phénomènes observés, de l'axe des raies aux lisières de la partie médiane, ne diffère pas sensiblement de la précédente. Le caractère distinctif des trois raies de ce groupe apparaît dans les images données par les ailes qui montrent à peine, ou ne montrent pas (*fig. 24 à 26*), les plages faculaires si visibles sur les images correspondantes fournies par les raies du groupe 1.

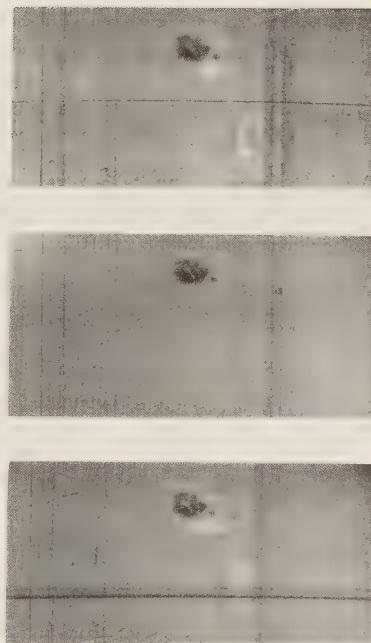
Nous avons vu que, pour celles-ci, la disparition définitive des plages, vers le spectre continu, se produisait dans une région des ailes où l'intensité résiduelle est, en moyenne, de 67 pour 100. C'est encore pour cette même valeur qu'elles disparaissent avec D_2 et, très probablement aussi, avec Fe 4144, dont la courbe d'intensité n'a pu être déterminée avec précision.

La courbe d'intensité de Fe 4132 est également mal connue. Il semble toutefois que, pour cette raie, la valeur de 67 pour 100 soit atteinte au voisinage immédiat des lisières, ce qui peut expliquer la non-réapparition des plages au delà de celles-ci.

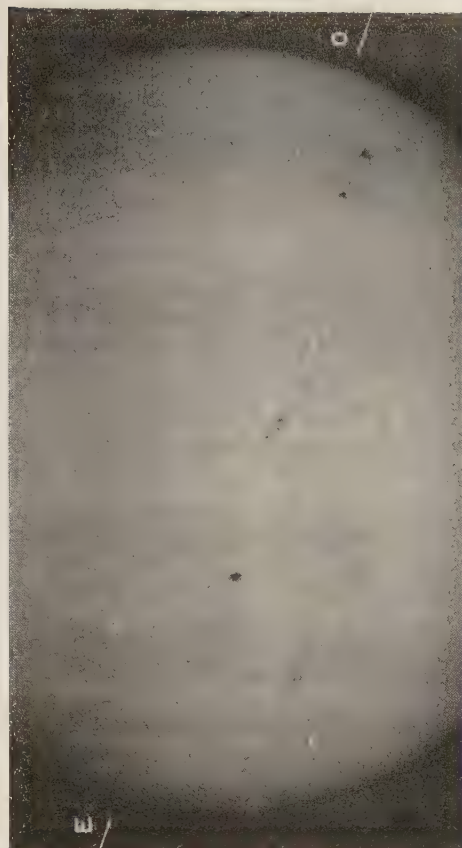
La visibilité de la granulation, avec les raies 4144 et D_2 , est nettement



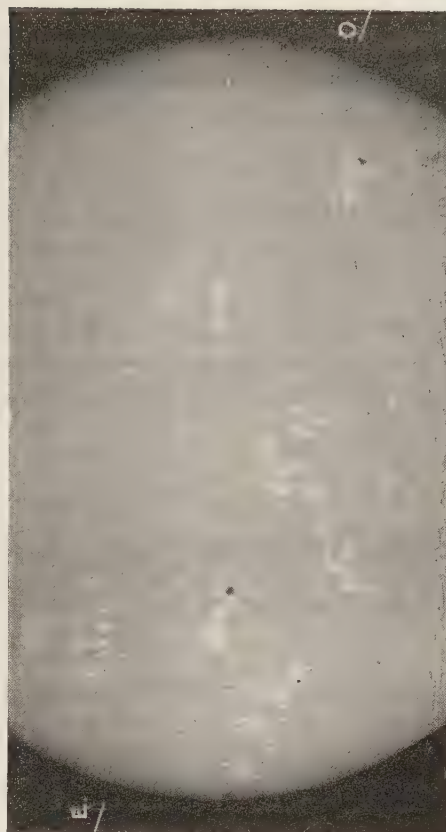
1. — Image obtenue à $\pm 0,07^{\circ}$ Å du milieu de la raie Fe 4202;
le 25 mai 1927, de $9^h 40^m$ à $9^h 43^m$ (T. U.).
Largeur de la 1^{re} fente = $0^m,015$.
Largeur de la fente sélectrice = $0^m,05 = 0,05^{\circ}$ Å.



Images axiales obtenues successivement avec les raies:
3. — Fe 4046 4. — Sr II 4078 5. — Ca 4227
le 17 août 1927, entre $1^h 0^m$ et $1^h 10^m$ (T. U.).
Largeur de la 1^{re} fente = $0^m,015$.
Largeur de la fente sélectrice = $0^m,05 = 0,04$ à $0,05^{\circ}$ Å.



2. — Image obtenue à $\pm 0,08^{\circ}$ Å du milieu de la raie Sr II 4078;
le 25 mai 1927, de $13^h 9^m$ à $13^h 14^m$ (T. U.).
Largeur de la 1^{re} fente = $0^m,017$.
Largeur de la fente sélectrice = $0^m,05 = 0,04^{\circ}$ Å.



6. — Image K_{1,3} à $\pm 1,27^{\circ}$ Å du milieu de la raie;
le 25 mai 1927, de $13^h 13^m$ à $13^h 14^m$ (T. U.).
Largeur de la 1^{re} fente = $0^m,01$.
Largeur de la fente sélectrice = $0^m,09 = 0,15^{\circ}$ Å.

plus grande près de la lisière violette que près de la lisière rouge. Le minimum axial est bien marqué. D'ailleurs, la partie médiane de ces deux raies est large et la fente n'en isole qu'une fraction réduite. Pour Fe 4132, le minimum

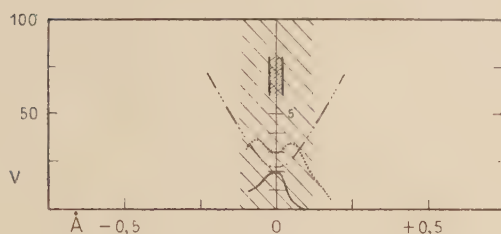


Fig. 24. — Fe 4132.

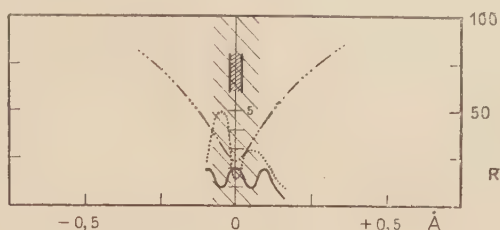


Fig. 25. — Fe 4144.

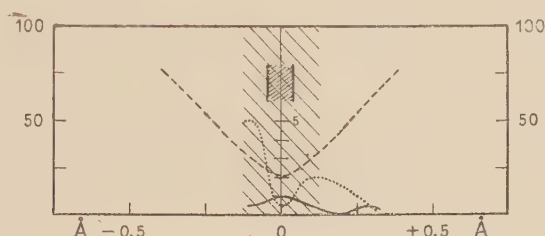


Fig. 26. — Na 5890.

Fig 24 à 26. — Courbes de visibilité des plages faculaires (trait plein) et de la granulation (pointillé), en fonction de la distance à l'axe des raies.

Groupe 2 : raies à ailes moyennes.

Même disposition que pour les figures 19 à 23. Les courbes d'intensité des raies Fe 4132 et Fe 4144, qui n'ont pu être exactement déterminées, sont figurées approximativement par une ligne mixte (trait et pointillé).

axial paraît inexistant, ainsi que la dissymétrie dans la visibilité aux deux lisières. Mais le très petit nombre d'images obtenues avec cette raie ne permet pas de conclure d'une façon certaine.

50. *Images données par les raies Fe 4104 et Fe 4202.* — Les images axiales sont à peu près semblables à celles que donnent les raies des deux groupes précédents. Aux lisières de la partie médiane, la dissymétrie dans la visibilité de la granulation, à peu près nulle ou très atténuée pour Fe 4202 (*fig. 28*), est inversée pour Fe 4104 (*fig. 29*).

Aucun bon cliché n'a pu être obtenu au delà de 0,1 Å, sur le côté le moins réfrangible de Fe 4202. De l'autre côté, sur l'aile, la réapparition des plages brillantes est assez sensible; leur disparition définitive se produit encore lorsque l'intensité résiduelle atteint les deux tiers environ de l'intensité du spectre continu.

Sur la lisière rouge, les images révèlent un phénomène nouveau : on y distingue, mêlées à la granulation, des plages sombres dont la position et la forme générale correspondent à celles des plages brillantes des images

axiales ou de H_1 , K_1 (*Pl. VIII*, cases 1 et 6, p. 72). Elles sont plus ou moins apparentes suivant les jours ou, plus probablement, suivant l'importance et l'activité des plages brillantes correspondantes. Elles sont

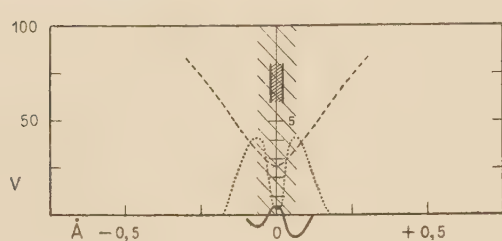


Fig. 27. — Sr II 4078.

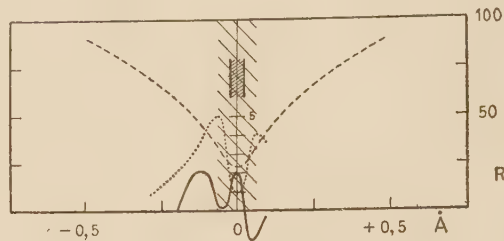


Fig. 28. — Fe 4202.

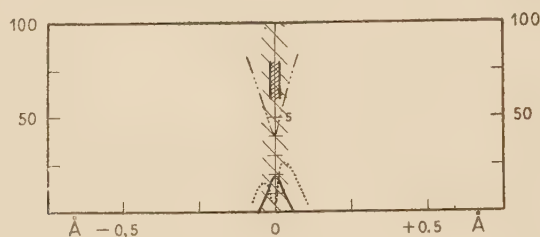


Fig. 29. — Fe 4104.

Fig. 27 à 29. — Courbes de visibilité des plages faculaires (trait plein) et de la granulation (pointillé), en fonction de la distance à l'axe des raies.

Groupes 3 et 4 : raies à ailes faibles.

Mêmes dispositions que pour les figures 19 à 26. La courbe d'intensité de la raie Fe 4104, qui n'a pu être exactement déterminée, est figurée approximativement par une ligne mixte (trait et pointillé).

complètement invisibles sur certains clichés. Dans les circonstances les plus favorables, elles restent très peu marquées et n'apparaissent pas, ou, tout au moins, sont à peu près indiscernables sur les images données par la lisière la plus réfrangible. Dans la figure 28, j'ai traduit leur existence par des ordonnées négatives; l'échelle du contraste, par rapport au fond, restant la même en valeur absolue.

La raie Fe 4104 ne les montre pas.

51. *Images données par la raie Sr II 4078.* — Les images axiales se révèlent particulièrement plates. Leur uniformité résulte surtout de l'absence presque totale des plages faculaires et des flocculi brillants que les images correspondantes, données par les autres raies, montrent avec un éclat relatif à peu près constant, en moyenne. J'ai pensé d'abord que ce résultat un peu imprévu — puisque les mêmes plages ont, avec un autre élément ionisé, le calcium, un éclat extraordinairement vif — pouvait tenir aux conditions particulières de l'activité solaire, lors des observations déjà effectuées. Pour le vérifier, j'ai enregistré le même jour, trois images successives d'une plage faculaire accompagnant une tache importante,

en plaçant la fente sélectrice sur le milieu des raies Fe 4046, Sr II 4078 et Ca 4227. Le résultat n'est pas douteux (*Pl. VIII*, cases 3, 4, 5, p. 72) : l'éclat de la plage est nettement plus faible avec la raie du strontium ionisé. Il est, par contre, à peu près le même pour les raies du fer et du calcium, ce qui confirme que les intensités exceptionnelles, notées parfois avec cette dernière raie (§ 48), n'avaient pas pour cause principale une singularité particulière à celle-ci.

La visibilité de la granulation, comme pour Fe 4202, est à peu près la même aux deux lisières de la raie du strontium (*fig. 27*). Les plages sombres sont également visibles (*Pl. VIII*, case 2, p. 72) ; de plus, elles apparaissent sur les deux côtés de la raie, tout en restant plus marquées à la lisière rouge. Aucune réapparition de plages brillantes n'est observée.

52. *Aspect des taches sur les diverses images. Assombrissement du bord.* — Aucune tentative n'a été faite, au cours de cette étude, pour mettre en évidence de petites variations dans l'aspect des taches, suivant les raies ou parties de raies isolées. D'une façon générale, l'ombre et la pénombre des taches fortes ou moyennes paraissent à peu près inaltérées, aussi bien sur les images axiales, que sur les images obtenues aux lisières ou dans les ailes. Quand les taches sont petites, elles restent encore sans changement dans les deux derniers cas, mais sont parfois recouvertes ou simplement voilées par les plages faculaires, sur les images axiales. L'effet s'est montré surtout sensible avec la raie Mg 3838. Il y a là une confirmation de l'observation visuelle, faite au spectrohélioscope sur les raies D et b, par G.-E. Hale, en 1926 (§ 28).

L'assombrissement du bord n'a pas paru très différent de celui que présentent les images de niveau élevé, calcium ionisé et hydrogène ⁽¹⁾.

53. *Récapitulation.* — Le Tableau VIII réunit les divers résultats qui viennent d'être décrits. Il donne notamment, pour chaque raie étudiée : d'une part, l'intensité sur l'axe et l'intensité résiduelle qui correspond à la disparition des plages brillantes, dans les ailes ; et, d'autre part, les indices de la visibilité maxima des plages sur les images axiales et de la granulation, près des lisières.

(¹) L'assombrissement des images au voisinage du bord peut tenir à la fois à l'action diffusante des vapeurs situées au-dessus de la couche photographiée et à l'augmentation progressive du niveau optique de celle-ci, à mesure que l'on s'éloigne du centre du disque.

Le fait que l'assombrissement est à peu près le même pour les raies de niveau élevé et pour les raies des vapeurs basses, semble indiquer que la seconde cause est prépondérante.

TABLEAU VIII.

ÉLÉMENT ET λ .	I ROWLAND.	LARGEUR		DISTANCE entre les max. de visibilité de la granulation.	INTENSITÉ sur l'axe.	INTENSITÉ résiduelle dans la région des ailes où les plages faculaires disparaissent.	INDICES DE LA VISIBILITÉ MAXIMA		
		de la fente sélec- trice ⁽¹⁾ .	de la partie médiane.				de la granulation.		des plages faculaires sur les images axiales.
		Å	°	Å	‰	‰	V.	R.	
Mg 3838	25	0,05	0,15	0,20	13	69?	4	1	2
Fe 4046	30	0,04	0,09	0,12	19	78	5	2	2
Sr II 4078	8	0,04	0,13	0,14	26	»	4	4	0,5
Fe 4104	5	0,03	0,08	0,08	41?	»	1,5	2,5	2
Fe 4132	10	0,04	»	0,12	22?	»	3,5	3,5	2
Fe 4144	15	0,04	»	0,10	24?	61?	5	3	2
Fe 4202	8	0,05	0,13	0,14	23	60	5	4	2
Ca 4227	20	0,05	0,13	0,14	13	62	5	3	3,5
Fe 4384	15	0,04	0,12	0,10	15	66	5	3	2
Mg 5184	30	0,10	0,15	0,16	20	67	4,5	2	2
Na 5890	30	0,09	0,25	0,24	22	72	5	2	1

(¹) Première fente de 0^{mm},015 pour toutes les raies.

Les largeurs des parties médianes, figurant dans la quatrième colonne, ont été déduites de mesures diverses, faites sur des spectrogrammes obtenus à la chambre IV. Les mesures relatives à Fe 4132 et Fe 4144, dont les lisières sont particulièrement diffuses, ont donné des résultats discordants et n'ont pas été retenues.

III. — Hauteur des vapeurs au-dessus de la surface.

54. *Causes d'erreur dans les mesures sur les séries alternées.* — Les mesures ont été faites sur un comparateur de Brünner, permettant d'apprécier le 1/500^e de millimètre. La plaque, portée sur une double coulisse à mouvements perpendiculaires, était orientée de manière que les lignes produites par les poussières des fentes du spectrohéliographe et qui repèrent l'horizontale des images, soient exactement parallèles à l'une des coulisses. Le diamètre vertical à mesurer se trouvait ainsi parallèle à l'autre, dont le microscope servait à faire les pointés. Chaque série d'images était mesurée à deux reprises différentes.

Parfois, lorsqu'une pose avait dû être effectuée tôt dans la matinée, ou tard dans la soirée, la variation de la réfraction astronomique devenait sensible. Il en résultait un mouvement oblique de l'image initiale du Soleil sur la première fente qui, se composant avec le mouvement horizontal

de l'objectif de projection, donnait à l'image finale l'aspect ci-dessous (fig. 30). Le diamètre vertical à mesurer était $a_1 b_1$ et non ab ou $a' b'$. Si les poses avaient été les mêmes pour toutes les épreuves de la série alternée, cette

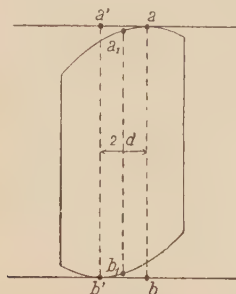


Fig. 30.

distinction aurait été sans grande importance sur la différence des diamètres. Mais le rapport des poses sur la raie et sur le spectre continu était souvent voisin de 10 et, en général, les images sur la raie, seules, étaient nettement déformées; il fallait tenir compte de la quantité $ab - a_1 b_1$. A cet effet, on mesurait la distance $2 d$ séparant les deux verticales passant par les points de tangence a et b' ; un calcul élémentaire permettait ensuite d'en déduire $a_1 b_1$.

Le bord supérieur des images s'est montré habituellement un peu moins net que le bord inférieur. Cette légère dissymétrie était presque inévitable avec un instrument comportant un cœlostàt à deux miroirs et huit ou onze pièces optiques différentes, suivant la combinaison adoptée ⁽¹⁾, entre le cœlostàt et la troisième fente. L'incertitude supplémentaire sur les pointés que cette dissymétrie a introduite est restée toujours très inférieure aux différences de diamètres à déterminer.

D'une façon générale, les images axiales ont montré des bords moins nets que les images sur le spectre continu.

55. *Détail des mesures.* — Les mesures ont été faites indépendamment par M^{lle} Roumens (R) et par moi-même (A). Elles n'ont porté que sur les images pour lesquelles la définition, cotée de 1 à 5, était au moins égale à 3 et dont l'opacité, au voisinage du bord solaire, sur une même série alternée, ne différait pas de plus d'un tiers. Le Tableau IX donne les diamètres moyens des images axiales (r) et des images sur le spectre continu ($s. c.$), ainsi que leur différence Δ , dans les diverses séries retenues. Il fournit également, pour chaque raie, les Δ moyennes et les écarts maxima.

⁽¹⁾ Prismes ou réseau.

TABLEAU IX.

Mg 3838.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
9 août 1928.....	2	1	mm 38,988	mm 38,845	mm 0,143	mm 39,021	mm 38,900	mm 0,121
11 août 1928, 1 ^{re} série.	1	2	39,036	38,899	0,137	38,984	38,873	0,111
11 août 1928, 2 ^e série.	1	3	39,026	38,924	0,102	39,010	38,911	0,099
Δ moyenne.....					0,127			0,110
Écarts maxima.....					+ 0,016			+ 0,011
					— 0,025			— 0,011

Sr II 4078.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
2 août 1927.....	2	2	mm 57,345	mm 57,176	mm 0,169	mm 57,327	mm 57,188	mm 0,139
28 août 1927, 1 ^{re} série.	2	3	57,680	57,501	0,179	57,639	57,493	0,146
28 août 1927, 2 ^e série.	2	2	57,593	57,482	0,111	57,530	57,406	0,124
Δ moyenne.....					0,153			0,136
Écarts maxima.....					+ 0,026			+ 0,010
					— 0,042			— 0,012

Fe 4202.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
30 août 1927, 1 ^{re} série.	2	2	mm 57,768	mm 57,688	mm 0,080	mm 57,739	mm 57,661	mm 0,078
30 août 1927, 2 ^e série.	2	2	57,770	57,695	0,075	57,751	57,696	0,055
31 août 1927, 1 ^{re} série.	3	1	57,642	57,586	0,056	57,629	57,561	0,068
31 août 1927, 2 ^e série.	2	2	57,638	57,603	0,035	57,637	57,609	0,028
Δ moyenne.....					0,062			0,057
Écarts maxima.....					+ 0,018			+ 0,021
					— 0,027			— 0,029

TABLEAU IX (suite).

Ca 4227.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
28 août 1927.....	2	2	mm 57,767	mm 57,635	mm 0,132	mm 57,744	mm 57,626	mm 0,118
30 août 1927, 1 ^{re} série.	2	3	57,816	57,701	0,115	57,804	57,667	0,137
30 août 1927, 2 ^e série.	2	2	57,836	57,695	0,141	57,816	57,679	0,137
Δ moyenne.....					0,129			0,131
Écarts maxima.....					+0,012 —0,014			+0,006 —0,013

Fe 4384.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
29 août 1927, 1 ^{re} série.	2	3	mm 57,865	mm 57,755	mm 0,110	mm 57,810	mm 57,716	mm 0,094
29 août 1927, 2 ^e série.	1	2	57,880	57,762	0,118	57,850	57,739	0,111
30 août 1927, 1 ^{re} série.	2	2	57,862	57,768	0,094	57,809	57,744	0,065
30 août 1927, 2 ^e série.	2	2	57,905	57,800	0,105	57,833	57,747	0,086
Δ moyenne.....					0,107			0,089
Écarts maxima.....					+0,011 —0,013			+0,022 —0,024

Mg 5184.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
31 août 1927, 1 ^{re} série.	1	2	mm 58,698	mm 58,588	mm 0,110	mm 58,682	mm 58,591	mm 0,091
31 août 1927, 2 ^e série.	2	1	58,659	58,608	0,051	58,660	58,590	0,070
Δ moyenne.....					0,080			0,080
Écarts maxima.....					+0,030 —0,029			+0,011 —0,010

Na 5890.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
6 sept. 1928.....	1	1	mm 59,205	mm 59,106	mm 0,099	mm 59,166	mm 59,080	mm 0,086

La sélection des images répondant aux conditions fixées au début de ce paragraphe a, presque toujours, rompu l'équilibre initial entre les nombres de poses effectuées sur la raie et sur le spectre continu, dans une même série. De plus, alors que chaque série a toujours été commencée et finie par une pose de même nature, cette condition n'est plus guère réalisée qu'une fois sur deux dans les poses retenues. Cependant, comme aucune erreur systématique ne s'est révélée dans les séries encadrées, où elle aurait pu être mise en évidence, il m'a semblé licite de faire entrer les autres dans les résultats d'ensemble, sans leur attribuer un poids plus faible.

56. *Résultats d'ensemble. Hauteur des vapeurs.* — Le Tableau X fournit, pour les diverses raies étudiées, et en milliers de kilomètres, les hauteurs des vapeurs déduites des Δ moyennes du Tableau précédent, ainsi que les écarts maxima entre les résultats donnés par les différentes séries relatives à une même raie. Dans la dernière colonne, j'ai reproduit les valeurs obtenues par S.-A. Mitchell [57], d'après la longueur des croissants du spectre-éclair, photographié au prisme-objectif, pendant l'éclipse du 30 août 1905.

TABEAU X.

ÉLÉMENT ET λ .	DIAMÈTRE moyen des images <i>s. c.</i> mesurées.	HAUTEUR (H) DES VAPEURS au-dessus de la surface et écarts maxima (10 ³ kilomètres).				HAUTEURS d'après le spectre éclair (Mitchell) (10 ³ km).
		R.		A.		
		H.	Écarts maxima.	H.	Écarts maxima.	
Mg 3838	mm 39,8	2,3	+0,3 —0,3	2,0	+0,2 —0,2	7,0
Sr II 4078	57,5	1,9	+0,1 —0,1	1,6	+0,1 —0,1	6,0
Fe 4202	57,6	0,8	+0,2 —0,3	0,7	+0,3 —0,3	0,6
Ca 4227	57,7	1,6	+0,1 —0,1	1,6	+0,1 —0,1	5,0
Fe 4384	57,7	1,3	+0,1 —0,1	1,1	+0,3 —0,3	1,6
Mg 5184	58,6	1,0	+0,5 —0,5	1,0	+0,1 —0,1	1,2
Na 5890	59,1	1,2	» »	1,0	» »	1,0

Étant donné le nombre restreint des observations, ces résultats sont présentés seulement comme provisoires. Ils mettent en évidence néanmoins, que, pour la mesure des faibles hauteurs où le simple spectroscopie se révèle insuffisant, le spectrohélographe peut apporter des indications intéressantes. Non seulement, les images axiales qu'il fournit ont toujours un diamètre nettement supérieur à celui des images obtenues sur le spectre continu, mais il révèle, d'une raie à l'autre, des différences appréciables, que la considération des écarts maxima permet de croire bien réelles.

Les hauteurs ainsi déterminées varient, en général, à peu près comme

les hauteurs données par Mitchell; mais l'amplitude des variations est beaucoup plus réduite ⁽¹⁾. Il se confirme que la raie ultraviolette du magnésium atteint un niveau plus élevé que la raie verte b_1 du même élément. Cette particularité ne semble pas, d'ailleurs, intervenir d'une manière sensible sur l'aspect des images données par les deux raies (§ 48).

57. *Hauteur des raies K_3 et K_2 .* — A titre de contrôle, j'ai appliqué la méthode spectrohéliographique à la détermination des hauteurs des composantes K_3 et K_{2n} de la raie K, dont les saillies ont pu être mesurées par C.-E. Saint-John, en 1910 [7].

Pour cette vérification, je me suis contenté de la dispersion de la combinaison I du spectrohéliographe. Les images K_{2n} ont été faites à $0,3 \text{ \AA}$ du milieu de K_3 et les images sur le spectre continu, à $6,85 \text{ \AA}$. Le mode opératoire était le même que précédemment; seules, ont été retenues les mesures effectuées sur les images répondant aux conditions exposées au paragraphe 55.

Voici les résultats moyens : Hauteur de K_3 , $5,2.10^4 \text{ km}$. Hauteur de K_{2n} , $3,6.10^4 \text{ km}$.

L'accord avec les nombres obtenus par Saint-John (§ 3) est très satisfaisant.

⁽¹⁾ On sait que S.-A. Mitchell a trouvé, toujours d'après le spectre-éclair du 30 août 1905, que la raie K s'élevait à $14\,000^{\text{km}}$. Cette valeur a paru excessive à certains auteurs. J. Evershed [59] pensait que l'on pouvait la concilier avec celle, beaucoup plus faible, que donne la mesure directe de la saillie de la raie, en supposant que, au-dessus de la couche intense de calcium ionisé, limitée par le *bord* des spectrohéliogrammes, se trouve une couche d'éclat plus faible et graduellement décroissant. La même hypothèse peut évidemment être faite, pour les raies de la couche renversante étudiées ici. La couche de faible éclat serait masquée, en temps ordinaire, par la lumière diffuse du ciel.

CHAPITRE IV.

DISCUSSION DES RÉSULTATS. IMAGES SIMULTANÉES.

I. — Plages faculaires et flocculi.

58. *Distinction entre les plages brillantes observées respectivement sur les images axiales et dans les ailes des raies.* — Nous avons vu, au chapitre précédent, que la courbe de visibilité des plages faculaires et des flocculi passe par deux minima très marqués, aux lisières des raies du groupe 1 (raies à ailes fortes). Cet affaiblissement momentané indique nettement que, malgré leur similitude d'aspect, les plages des images axiales n'ont pas la même origine que les plages données par les ailes. Il apporte un argument décisif en faveur de l'hypothèse, faite par J. Evershed et par P. Fox (§ 19), que les plages H_1 , K_1 sont les facules elles-mêmes, enregistrées à l'aide de leur spectre continu.

Avec les raies H et K, l'émission des composantes médianes, exceptionnellement forte sur les facules, déborde largement dans les ailes, de sorte qu'il paraît impossible de discerner dans quelle région elle cesse de jouer un rôle prépondérant. Avec les raies de la couche renversante, au contraire, le renforcement du pouvoir émissif, provoqué par le rayonnement plus intense des facules, est à peine indiqué ⁽¹⁾; il ne s'étend pas, pratiquement, jusqu'aux lisières, où l'absorption est encore trop forte pour que des détails photosphériques puissent être discernés. De là, la presque disparition des plages. L'absorption diminuant ensuite et, corrélativement, le niveau effectif d'observation se rapprochant de la surface, les parties les plus élevées, les facules, commencent à transparaître. Le niveau s'abaissant toujours, les parties basses sont, à leur tour, de moins en moins absorbées et les

⁽¹⁾ Il est très remarquable que le faible excès de rayonnement des facules produise des effets si disproportionnés, suivant qu'il s'agit du calcium ionisé, de l'hydrogène ou des vapeurs basses. L'excitation de ces dernières semble normale. Par contre, le vif éclat des éléments élevés, du calcium en particulier, apparaît extraordinaire. Peut-être est-il lié à la nature spéciale de l'équilibre qui règne dans les couches hautes.

facules, après un maximum relatif d'éclat, redeviennent à peu près invisibles, comme elles le sont, au centre du disque solaire, sur une image directe de l'astre.

Le Tableau VIII montre que, pour les raies du groupe 1, sauf, peut-être, pour Fe 4046, la seconde disparition se produit au moment où l'intensité des ailes est égale aux deux tiers environ de l'intensité du spectre continu voisin. Avec les raies des autres groupes, on retrouve cette même valeur de l'intensité résiduelle limite dans celles des ailes qui montrent encore faiblement les plages; ou bien, lorsqu'il n'y a pas de réapparition, les deux tiers de l'éclat normal sont atteints aux lisières même de la partie médiane, c'est-à-dire dans une région où le gradient d'intensité étant élevé, la zone de visibilité des facules est, vraisemblablement, trop étroite pour être décelée au spectrohéliographe.

On pourrait, d'une manière analogue, attribuer l'invisibilité des facules dans les ailes des raies de l'hydrogène, au fait que l'intensité résiduelle, d'après les tracés microphotométriques d'Unsöld et de Minnaert (§ 6) atteint, elle aussi, 67 pour 100 au voisinage immédiat des lisières.

Il était intéressant de rechercher si la limite extérieure de visibilité des facules correspond à la même valeur de l'intensité résiduelle dans les ailes exceptionnellement larges de la raie K. J'ai fait, dans ce but, une série d'images à poses graduées, avec les différentes parties de cette raie et, par la méthode déjà employée pour les raies de la couche renversante, j'en ai déduit, à la fois, la courbe d'intensité ⁽¹⁾ et la distance au milieu de la raie où les facules cessent d'être visibles. Cette distance (7 Å environ) correspond bien à la valeur deux tiers pour l'intensité résiduelle.

Ainsi, quels que soient les caractères des raies étudiées et la valeur du minimum d'intensité dans la partie médiane (Tableau VIII); que le renforcement d'émission, provoqué au milieu de celle-ci par les facules, soit fort ou faible et qu'il déborde plus ou moins au delà des lisières; c'est toujours pour la même intensité de l'aile, relativement au spectre continu, que les plages brillantes disparaissent. Il y a là une indication très nette

⁽¹⁾ Au voisinage du milieu de la raie, l'estimation était souvent gênée par le grand relief des détails de l'image. Je me suis toujours efforcé de ne considérer que le fond. D'autre part, j'ai admis que, à 9 Å du milieu de la raie, l'absorption, par l'aile, était devenue pratiquement insensible. Cependant, Unsöld estime [3] que les ailes de H et K empiètent l'une sur l'autre et que le spectre continu n'a sa valeur normale en aucun point de l'intervalle qui sépare ces deux raies. La distance choisie serait ainsi un peu insuffisante. Néanmoins, l'intensité minima, au milieu de K₃, déterminée dans ces conditions, a été trouvée égale à 7 pour 100 de l'intensité du spectre continu, ce qui correspond exactement à la valeur donnée par M. Minnaert [5]. Les autres parties de la courbe sont aussi en très bon accord avec les résultats obtenus par cet auteur. (voir fig. 1).

que la visibilité de ces plages est sous la dépendance directe des phénomènes d'absorption et, par suite, une nouvelle justification de l'hypothèse qui les identifie avec les facules elles-mêmes.

Une autre vérification est possible. Si ce sont bien les facules qui sont visibles dans les ailes des raies, elles doivent, à partir du moment où le niveau effectif d'observation coïncide avec le leur, conserver à peu près le même éclat absolu lorsque la fente sélectrice continue à s'éloigner de la partie médiane. Malheureusement, les mesures photométriques, sur des plages dont l'éclat n'est pas uniforme, sont assez incertaines. Il faudrait, pour obtenir des indications suffisamment précises, opérer sur un grand nombre de clichés, pris dans des conditions diverses. Il ne m'a pas été possible d'aborder ce travail.

Dans le même ordre d'idées, il serait également intéressant de rechercher si, près des lisières des raies, dans la zone où les facules commencent à transparaître à travers la vapeur qui les surmonte, leur visibilité ne diminue pas près du bord solaire, où la couche absorbante est vue sous une plus grande épaisseur. Mais cette seconde recherche est encore plus délicate que la précédente car, le plus souvent, l'éclat d'une même facule est variable au cours de sa traversée du disque et seuls, des résultats moyens, déduits d'observations nombreuses, pourraient avoir quelque valeur.

Enfin, il y aurait lieu de préciser les caractères respectifs des plages observées sur les images axiales et des plages données par les ailes. *A priori*, il semble douteux que ces plages soient identiques. Tout au moins, l'exemple du calcium ionisé, où les plages H_2 , K_2 et H_3 , K_3 , indépendamment de leur éclat relatif exceptionnel, sont plus étendues et de contours moins nets que les plages H_1 , K_1 , permet de supposer que, dans la couche renversante, des différences analogues peuvent exister. Elles seraient toutefois, à une échelle beaucoup plus réduite, l'épanouissement des flocculi paraissant lié directement au niveau où ils sont produits. Pour les mettre en évidence, des images de plus grand diamètre et obtenues dans des conditions générales de définition meilleures seraient nécessaires.

59. *Plages sombres observées aux lisières des raies Fe 4202 et Sr II 4078.*

— Par leur aspect, aussi bien que par les conditions de leur apparition, ces plages sont à rapprocher de celles que l'on observe aux lisières des raies de l'hydrogène et que les divers auteurs s'accordent à attribuer à des élargissements de la partie médiane. Nous avons expliqué, au paragraphe 23, pourquoi ces élargissements qui correspondent, en général, aux maxima d'intensité des composantes H_2 , K_2 , H_3 , K_3 se traduisaient, au

spectrohéliographe, par des plages sombres formant, en quelque sorte, le *contre-type* des plages brillantes du calcium ionisé.

Cependant, avant de conclure que les plages sombres considérées ici sont bien dues à la même cause que les plages similaires de l'hydrogène, il y a lieu : 1^o de vérifier que les raies de la couche renversante présentent, elles aussi, des élargissements sur les régions faculaires où H_2, K_2 et H_3, K_3 subissent des renforcements d'éclat. Ces élargissements sont insensibles

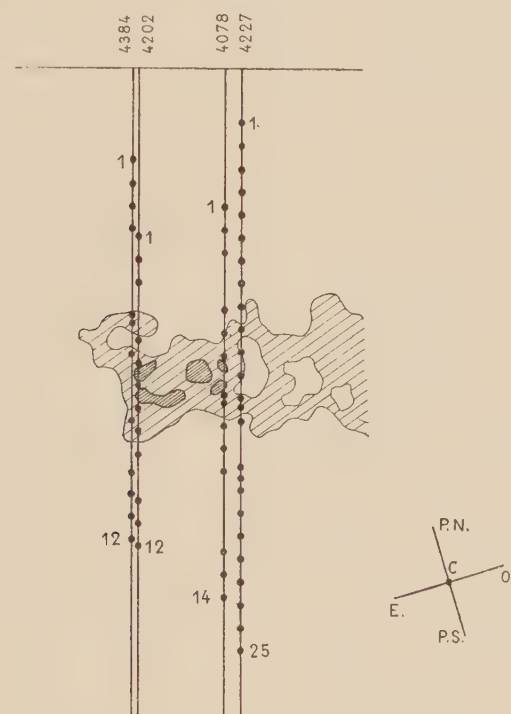


Fig. 31. — Détermination de la largeur des raies Sr II 4078, Fe 4202, Ca 4227 et Fe 4384, sur une plage faculaire et dans les régions voisines non perturbées.

Positions des points mesurés (plage faculaire Nord).

La zone occupée par la plage est recouverte de hachures espacées. Les hachures serrées, limitées par des traits épais, marquent approximativement la position d'un groupe de taches. Sur la figure, le diamètre du disque solaire est de 315^m . Le centre est en C.

à simple vue (§ 11), alors que ceux des raies de l'hydrogène sont très marqués; 2^o de rechercher pourquoi, seules des onze raies étudiées, les raies Fe 4202 et Sr II 4078 donnent des plages sombres.

1^o Les lisières des parties médianes, dont la netteté est liée à la valeur de la pente maxima de la courbe d'intensité des raies, se pointent avec des précisions très variables suivant les raies considérées. Après quelques essais préliminaires, j'ai retenu, pour la mesure des largeurs relatives aux

différents points du disque, deux raies à ailes fortes, choisies parmi les plus nettes : Ca 4227 et Fe 4384; et les deux raies dont les spectrohéliogrammes montrent des plages sombres : Sr II 4078 et Fe 4202. Des séries de sections faites à la fente sélectrice de la chambre IV, par la méthode du spectro-enregistreur des vitesses, sur diverses facules et les régions du disque avoisinantes, ont fourni les éléments des mesures. Celles-ci ont été effectuées au comparateur de Brünner de l'Observatoire.

Les résultats obtenus sont, en général, concordants. Le Tableau XI,

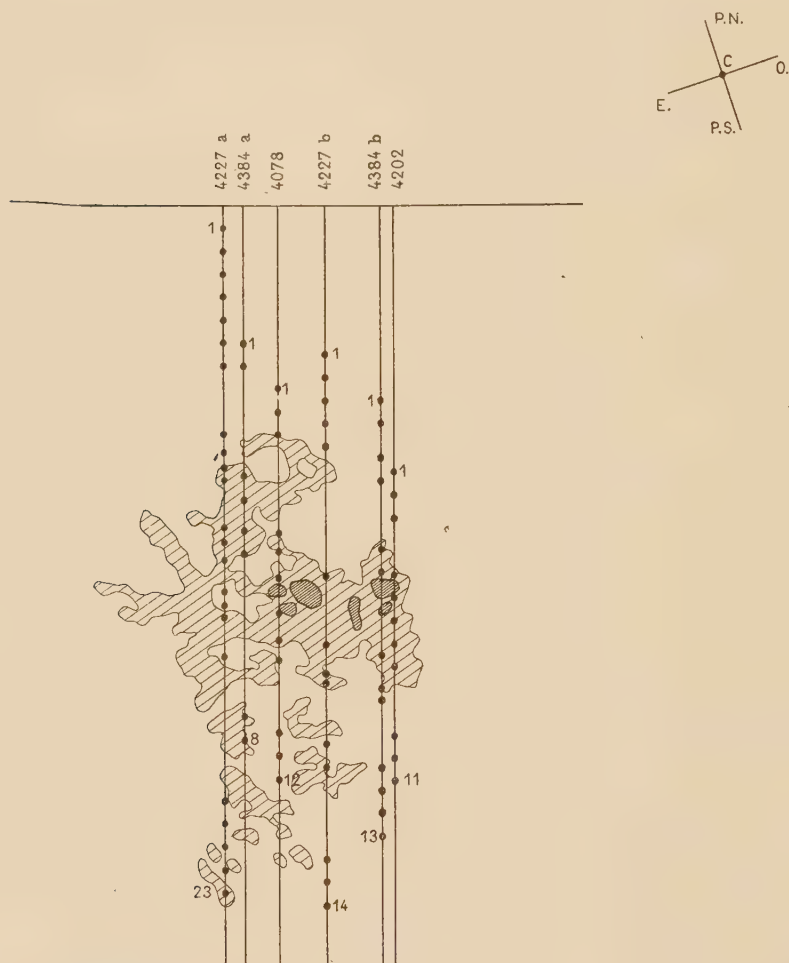


Fig. 32. — Détermination de la largeur des raies Sr II 4078, Fe 4202, Ca 4227 et Fe 4384, sur une plage faculaire et dans les régions voisines non perturbées.

Positions des points mesurés (plage faculaire Sud).

Mêmes conventions et même échelle que pour la figure précédente.

complété par les figures 31 et 32, résume les plus caractéristiques, déduits de clichés pris par images très calmes, avec les quatre raies sélectionnées ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ 1^{re} fente = 0^{mm},015.

TABLEAU XI.

VARIATIONS DE LARGEUR DE QUELQUES RAIES DE LA COUCHE RENVERSANTE
EN DIFFÉRENTS POINTS DU DISQUE SOLAIRE.

Raie SrII 4078.				Raie Fe 4202.			
PLAGE FACULAIRE NORD ET RÉGIONS VOISINES.		PLAGE FACULAIRE SUD ET RÉGIONS VOISINES.		PLAGE FACULAIRE NORD ET RÉGIONS VOISINES.		PLAGE FACULAIRE SUD ET RÉGIONS VOISINES.	
Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.	Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.	Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.	Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.
	mm		mm		mm		mm
1.....	0,144	1.....	0,138	1.....	0,128	1.....	0,152
2.....	0,136	2.....	0,144	2.....	0,124	2.....	0,142
3.....	0,158	3.....	0,138	3.....	0,138	3.....	0,146
4.....	0,150	4.....	0,140	4.....	0,134	4.....	0,154
5.....	0,142	5.....	0,182	5.....	0,144	5.....	0,174
6.....	0,182	6.....	0,202	6.....	0,158	6.....	0,174
7.....	0,176	7.....	0,184	7.....	0,134	7.....	0,162
8.....	0,184	8.....	0,196	8.....	0,158	8.....	0,144
9.....	0,148	9.....	0,162	9.....	0,154	9.....	0,138
10.....	0,152	10.....	0,158	10.....	0,124	10.....	0,126
11.....	0,166	11.....	0,144	11.....	0,134	11.....	0,136
12.....	0,164	12.....	0,148	12.....	0,160		
13.....	0,146						
14.....	0,158						
Moyenne des largeurs sur les régions non perturbées : 0 ^{mm} ,148. Moyenne des largeurs sur les plages faculaires : 0 ^{mm} ,170.				Moyenne des largeurs sur les régions non perturbées : 0 ^{mm} ,138. Moyenne des largeurs sur les plages faculaires : 0 ^{mm} ,155.			

Raie Ca 4227.					
PLAGE FACULAIRE NORD ET RÉGIONS VOISINES.		PLAGE FACULAIRE SUD ET RÉGIONS VOISINES.			
Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie	a.		b.	
		Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.	Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.
	mm		mm		mm
1.....	0,126	1.....	0,132	1.....	0,140
2.....	0,132	2.....	0,136	2.....	0,118
3.....	0,114	3.....	0,112	3.....	0,122
4.....	0,130	4.....	0,142	4.....	0,126
5.....	0,122	5.....	0,130	5.....	0,148
6.....	0,130	6.....	0,136	6.....	0,146
7.....	0,098	7.....	0,140	7.....	0,156
8.....	0,152	8.....	0,142	8.....	0,150
9.....	0,094	9.....	0,166	9.....	0,156
10.....	0,120	10.....	0,144	10.....	0,120
11.....	0,156	11.....	0,166	11.....	0,144
12.....	0,158	12.....	0,160	12.....	0,130
13.....	0,140	13.....	0,198	13.....	0,138
14.....	0,168	14.....	0,176	14.....	0,150
15.....	0,130	15.....	0,168		
16.....	0,118	16.....	0,124		
17.....	0,144	17.....	0,174		
18.....	0,120	18.....	0,156		
19.....	0,146	19.....	0,144		
20.....	0,142	20.....	0,160		
21.....	0,126	21.....	0,154		
22.....	0,116	22.....	0,144		
23.....	0,136	23.....	0,164		
24.....	0,150				
25.....	0,132				
Moyenne des largeurs sur les régions non perturbées..... 0 ^{mm} ,134 Moyenne des largeurs sur les plages faculaires..... 0 ^{mm} ,153					

TABLEAU XI (suite).

Raie Fe 4384.					
PLAGE FACULAIRE NORD ET REGIONS VOISINES.		PLAGE FACULAIRE SUD ET REGIONS VOISINES.			
Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.	a.		b.	
		Numéros des points mesurés.	Largeur de la raie.	Numéros des points mesurés	Largeur de la raie.
	mm		mm		mm
1.....	0,104	1.....	0,120	1.....	0,112
2.....	0,106	2.....	0,114	2.....	0,114
3.....	0,114	3.....	0,130	3.....	0,134
4.....	0,094	4.....	0,152	4.....	0,112
5.....	0,110	5.....	0,162	5.....	0,110
6.....	0,148	6.....	0,118	6.....	0,152
7.....	0,124	7.....	0,106	7.....	0,142
8.....	0,128	8.....	0,124	8.....	0,116
9.....	0,118			9.....	0,134
10.....	0,104			10.....	0,114
11.....	0,096			11.....	0,118
12.....	0,102			12.....	0,132
				13.....	0,138
Moyenne des largeurs sur les régions non perturbées.....					0 ^{mm} , 114
Moyenne des largeurs sur les plages faculaires.....					0 ^{mm} , 133

On voit que les largeurs des quatre raies sont systématiquement plus grandes sur les régions du disque occupées par des facules. Le résultat, vu le petit nombre des mesures, doit être considéré avec quelque réserve; il indique suffisamment, toutefois, que les raies de la couche renversante ont tendance à se comporter, au point de vue de l'élargissement sur les facules, comme les raies de l'hydrogène. L'échelle du phénomène serait seulement plus réduite. Dans des conditions analogues, l'élargissement de H_{α} est, en effet, d'environ 50 pour 100 ⁽¹⁾. Il n'atteint ici que 13 pour 100 en moyenne.

2° L'explication des plages sombres retenue au paragraphe 23 exige, pour être valable, l'intervention simultanée de deux facteurs : les sinuosités des lisières de la raie, d'une part et, d'autre part, une différence assez grande entre l'intensité médiane et l'intensité de l'aile extérieurement, mais très

⁽¹⁾ Il aurait été désirable de vérifier le rapport des élargissements de H_{α} et des raies de la couche renversante étudiées, à l'aide d'images spectrales obtenues simultanément. Le spectrohéliographe ne le permettant pas et la comparaison d'images faites successivement, même à de courts intervalles de temps, n'ayant pas grande signification, je me suis contenté, ici, de donner l'élargissement moyen de H_{α} déterminé autrefois par H. Deslandres et moi-même [48].

près des lisières. Ces deux conditions sont réalisées pour les raies Sr II 4078 et Fe 4202. La première l'est encore pour les raies du groupe 1 et, vraisemblablement, pour les raies du groupe 2; mais la seconde ne l'est pas; dans la raie Ca 4227, par exemple, l'intensité de deux points situés de part et d'autre d'une lisière et à une distance de celle-ci égale à la demi-largeur de la fente sélectrice, ne diffère guère que de 4 pour 100; elle diffère de 9 pour 100, au moins, dans la raie Fe 4202.

Enfin, pour la raie Fe 4104, c'est la première condition qui paraît n'être pas réalisée. En effet, malgré un assez grand nombre de mesures effectuées sur cette raie, dans des régions faculaires même très intenses, je n'ai pu mettre en évidence d'élargissements sensibles. Ceux-ci, s'ils existent, sont de l'ordre des erreurs de pointé.

Cette discussion justifie le rapprochement fait au début de ce paragraphe entre les plages sombres observées aux lisières des raies Fe 4202 et Sr II 4078 et les plages similaires données par les lisières des raies de l'hydrogène. Le phénomène aurait, dans tous les cas, la même origine. Sa plus ou moins grande visibilité dépendrait seulement de la manière plus ou moins complète dont seraient réalisées les conditions énoncées ci-dessus.

60. *Dissymétrie dans la visibilité des plages sombres.* — Pour Fe 4202, comme pour Sr II 4078, les plages sombres sont nettement plus marquées à la lisière la moins réfrangible de la raie. Ce phénomène peut être dû, soit à un décalage des élargissements par rapport à la position moyenne des lisières, soit encore à une dissymétrie dans la pente de la courbe d'intensité de la raie. Il ne semble pas que la première cause soit à retenir : au cours des mesures de la largeur des raies, résumées au paragraphe précédent, les lectures au comparateur n'ont mis en évidence aucun décalage net des élargissements. Reste la seconde cause; d'après nos déterminations, en accord, pour Sr II 4078, avec celles de A. Unsöld (¹), les courbes des deux raies présentent une dissymétrie assez forte, la pente étant plus rapide sur la lisière la moins réfrangible. Le sens de cette dissymétrie est justement celui que l'aspect des spectrohéliogrammes permet de prévoir.

61. *Remarques sur les plages sombres observées dans les images axiales des raies de l'hydrogène H₃, H_γ, H_δ. Cas des circumfacules et des images axiales du strontium ionisé.* — Nous avons vu (§ 24) que ces plages, visibles sur des images faites avec une fente sélectrice assez étroite pour que la

(¹) Le physicien allemand n'a pas étudié la raie Fe 4202.

lumière des lisières n'y pénètre pas, sont dues, à peu près uniquement, à des diminutions d'éclat de la raie isolée. Leur analogie avec les plages sombres observées aux lisières montre, d'autre part, que là où elles apparaissent, la raie est élargie. Si l'on admet (§ 9) que la cause principale de cet élargissement réside bien dans une augmentation du pouvoir absorbant de la vapeur, on doit en conclure que les plages sombres axiales correspondent aux régions où l'absorption est particulièrement forte.

Cependant, dans les conditions où l'élévation du pouvoir absorbant se produit, le pouvoir émissif s'accroît également. Pourquoi ces augmentations parallèles donnent-elles lieu, pour la raie de l'hydrogène H_α , à une augmentation finale d'éclat, alors que, pour les raies plus réfrangibles de la série de Balmer, elles se traduisent, au contraire, par un assombrissement ? Cette anomalie apparente peut, semble-t-il, être expliquée en supposant que la proportion de lumière photosphérique résiduelle, à peu près négligeable au milieu de H_α , prend une importance de plus en plus grande dans les raies suivantes. Deux faits plaident en faveur de cette hypothèse : 1° l'aspect de la structure H_{α_2} , dans laquelle ne se retrouve aucun détail de la surface et qui marque ainsi la prépondérance de la lumière propre de la vapeur sur la lumière photosphérique résiduelle. Cette prépondérance ne peut évidemment que s'accroître quand on passe de H_{α_2} à H_{α_3} ; 2° la diminution graduelle de la largeur des raies de l'hydrogène, qui cessent finalement d'être visibles sur le disque à partir de H_γ .

S'il en est bien ainsi, un accroissement du rayonnement de la surface provoquera, au milieu de H_α , où l'absorption est sensiblement saturée, une augmentation d'éclat; de là les plages brillantes observées au-dessus des facules. Par contre, il se traduira par un assombrissement des autres raies, pour lesquelles l'augmentation du pouvoir absorbant l'emportera sur celle du pouvoir émissif. Il semble, d'ailleurs, que ce dernier effet se manifeste aussi près des lisières de H_α où, comme nous l'avons vu au paragraphe 6, les augmentations de largeur correspondent à des assombrissements ⁽¹⁾. H_α présenterait ainsi, dans ses différentes parties, la gamme complète des phénomènes. Il doit même s'y trouver une région où la diminution de la lumière transmise, sur les facules, faisant à peu près exactement équilibre à l'augmentation du pouvoir émissif, aucune plage, brillante ou sombre, ne pourrait être visible. Cette région, si elle existe, est sans doute confondue avec la région H_{α_2} . Au milieu de H_β , les conditions de compensation seraient, également, voisines d'être réalisées.

⁽¹⁾ Le spectrohéliographe ne permet pas de déceler les plages sombres correspondant à cet effet spécial, car elles se confondent avec celles qui sont dues aux sinuosités des lisières

La même hypothèse peut expliquer la présence de circumfacules dans les images K_3 (§ 15). Dans ces régions, voisines des facules, l'excès du rayonnement de la surface se ferait encore sentir. Il se traduirait, pour la couche K_3 qui, dans les conditions ordinaires, laisse probablement transparaître une partie de la lumière K_2 , par une augmentation prépondérante du pouvoir absorbant, d'où l'assombrissement observé.

Si l'apparition des plages faculaires brillantes dans les images axiales laisse présumer que, dans ces images, la lumière photosphérique résiduelle ne joue qu'un rôle négligeable, on peut admettre que, pour les raies H et K et pour la plupart des raies de la couche renversante étudiées ici, l'absorption, dans la partie médiane, est à peu près saturée. Cependant, nous avons vu au paragraphe 51 que les images axiales de Sr II 4078 ne montraient pratiquement pas les plages faculaires brillantes. N'y aurait-il pas là une indication que, pour cette raie, on se trouverait au voisinage des conditions de compensation mentionnées plus haut ? Je me borne à indiquer ici cette hypothèse que le grand nombre d'inconnues du problème ne permet pas, actuellement, de préciser davantage.

II. - Granulation.

62. *Origine de la granulation. Généralité du phénomène.* — Les figures 19 à 29 montrent qu'il existe une opposition très nette entre la visibilité des plages faculaires et celle de la granulation; les maxima de l'une correspondent aux minima de l'autre, et réciproquement. Ce seul fait met en évidence l'origine différente des deux structures ⁽¹⁾. La première, comme nous l'avons vu aux chapitres précédents, est liée au rayonnement plus ou moins actif de la surface. La seconde, dans laquelle on ne retrouve aucun détail observable dans la photosphère a, très vraisemblablement, son origine dans les couches de vapeurs elles-mêmes qui, à tout moment brassées et soumises à des courants de convection, offrent en leurs différents points des différences de température, de densité et de pression qui se traduisent par des différences d'éclat.

Il est intéressant de remarquer que cette seconde structure, que l'on pourrait appeler la *structure propre* des vapeurs de la couche renversante, se présente sous l'aspect d'une granulation sensiblement uniforme et qui, à première vue tout au moins, semble très analogue dans les divers éléments

⁽¹⁾ J'ai fait une remarque identique à propos de l'hydrogène (§ 26).

étudiés. Je l'ai rapprochée déjà de la granulation H_{x_2} , dans les régions du disque libres de *Solar Vortices*. Le phénomène serait ainsi très général ⁽¹⁾ et son étude mérite une attention spéciale. Dans les deux paragraphes suivants, j'examine deux particularités curieuses signalées au Chapitre III : 1° la dissymétrie dans la visibilité de la granulation aux deux lisières des raies ; 2° la diminution du contraste des grains dans les images axiales, Je décris ensuite quelques essais effectués, à l'aide d'images simultanées, pour déterminer si les granulations des diverses vapeurs sont réellement identiques, et les premiers résultats obtenus dans cette voie.

63. *Dissymétrie dans la visibilité de la granulation aux deux lisières des raies.* — Il ne paraît pas probable qu'elle soit due à une différence réelle dans l'intensité des grains par rapport au fond. On doit plutôt l'attribuer, semble-t-il, au fait que les régions des raies qui produisent la granulation ont des largeurs inégales aux deux lisières de la partie médiane. Lorsque cette largeur atteint ou dépasse celle de la fente sélectrice, la granulation prend son relief maximum. Lorsqu'elle est inférieure, au contraire, les grains sont plus ou moins confondus avec les détails des structures voisines qui apparaissent simultanément et la visibilité est moins bonne.

Si, par analogie avec la raie H_x , on appelle composantes d'indice 2 dans les raies de la couche renversante, les régions qui montrent la granulation, on peut conclure, d'après ce qui précède, que ces composantes offrent une dissymétrie de largeur analogue à celle que présentent les composantes H_2 , K_2 des raies du calcium ionisé (§ 2). Cette dissymétrie serait, en général, de même sens, pour cet élément et pour les vapeurs basses. Or, nous avons vu, au paragraphe 4, qu'elle a été attribuée — pour le calcium ionisé — à un effet Doppler-Fizeau, résultant de mouvements relatifs de descente de la couche supérieure par rapport à la couche moyenne. D'autre part, il paraît établi, en particulier d'après les travaux de Saint-John [32] [33], que des mouvements relatifs analogues existent dans la couche renversante. La dissymétrie, correspondant à cette particularité, est invisible au simple spectrographe ; par contre, elle est assez bien mise en évidence sur certaines courbes d'intensité. A. Unsöld l'a même utilisée (§ 12) pour expliquer l'inégalité des déplacements vers le rouge des raies intenses et des raies faibles. Le spectrohéliographe, lui aussi, serait donc susceptible de déceler les mouvements verticaux des vapeurs.

(¹) Cependant, les images données par les composantes médianes des raies H et K ne montrent pas la granulation. Peut-être celle-ci y est-elle masquée par l'éclat exceptionnel des plages faculaires et des flocculi ? Cette question sera examinée à nouveau au Chapitre V.

Autant que l'évaluation de la visibilité des grains permet de l'apprécier, l'instrument montre même que, dans une certaine mesure, l'importance de la dissymétrie *décroît* avec l'intensité de Rowland; c'est-à-dire, suivant Saint-John [32], avec le niveau effectif moyen de production des raies. Le Tableau XII, dans lequel les différences de visibilité D sont directement déduites des valeurs inscrites au Tableau VIII, fait ressortir cette correspondance. D a été considérée comme positive lorsque la granulation la plus visible se rapportait à la lisière la plus réfrangible.

TABLEAU XII.

Élément et λ .	I.	D.
Fe 4046	30	-3,0
Mg 5184	30	+2,5
Na 5890	30	+3,0
Mg 3838	25	+3,0
Ca 4227	20	+2,0
Fe 4144	15	+2,0
Fe 4384	15	+2,0
Fe 4132	10	0,0
Sr II 4078	8	0 0
Fe 4202	8	+1,0
Fe 4104	5	-1,0

Étant donnée l'incertitude des évaluations, on peut dire seulement que la dissymétrie est forte pour les raies intenses (30 à 15), faible ou nulle pour les raies faibles (10 à 5). Malgré le petit nombre de raies étudiées, il ne semble pas que la relation soit simplement fortuite. Si elle était vérifiée par des observations plus nombreuses, et la réalité des courants verticaux, variables avec le niveau, étant admise, elle pourrait fournir quelques précisions sur l'épaisseur optique des couches supérieures des diverses vapeurs : une faible différence entre les vitesses verticales des couches superposées indiquant une faible différence de niveau entre ces couches.

Toutefois, les résultats donnés par la raie Sr II 4078 ne sont guère favorables à cette manière de voir. L'épaisseur optique de la couche supérieure correspondant à cette raie devrait être faible, puisque aucune dissymétrie sensible dans la visibilité de la granulation n'apparaît aux lisières. Or, d'après ce que nous avons dit au paragraphe 61, elle serait plutôt grande, le pouvoir absorbant, dans cette raie, paraissant anormalement peu élevé. D'autre part, Sr II 4078, symétrique quant à la visibilité de la granulation, semble avoir, néanmoins, une courbe d'intensité dissymétrique.

Ces particularités demandent à être vérifiées. Si leur exactitude était établie, elles apporteraient une confirmation nouvelle du caractère exceptionnel, dans le Soleil, des raies appartenant aux éléments ionisés.

64. *Affaiblissement de la granulation dans les images axiales.* — Cet affaiblissement apparaît d'autant plus marqué que la fraction de la partie médiane, isolée dans la seconde fente, est plus petite. Les variations dans la visibilité des grains, sur les images axiales, semblent donc dues, avant tout, à une cause instrumentale : un spectrohéliographe assez puissant pour isoler le quart ou le cinquième de la partie médiane de toutes les raies donnerait probablement des images axiales où la granulation apparaîtrait à peine.

Comme nous l'avons déjà signalé (§ 20), cette particularité se retrouve avec les images H_{α} de l'hydrogène; elle apparaît donc aussi générale que la granulation elle-même.

On peut toutefois se demander à quelle région des raies correspond l'intensité normale de la granulation et si, au lieu de l'affaiblissement dont il est question ici, il n'y a pas plutôt un renforcement dans les images aux lisières provoqué, comme les plages sombres discutées au paragraphe 59, par des variations de largeur de la partie médiane. Si les grains ont bien l'origine que nous avons admise (§ 62), ces variations de largeur, corrélatives des variations d'éclat, ne peuvent manquer d'exister. Aux lisières, les effets des deux variations s'ajouteraient et provoqueraient les renforcements observés.

Au cours des mesures effectuées pour déterminer les largeurs relatives des raies sur les facules et dans les régions du disque non troublées, je n'ai pu mettre en évidence de telles variations. Ce résultat négatif ne peut avoir, d'ailleurs, de grande signification : l'amplitude et la longueur des sinuosités correspondant aux grains sont sans doute trop faibles pour être discernées dans l'agitation des images. Le fait que, pour les spectrohéliogrammes H_{α_2} , la fente sélectrice est, à peu près sûrement, tout entière à l'intérieur des lisières, est plus important. Il montre que les variations de largeur ne sont pas indispensables pour la visibilité de la granulation et que, par suite, même dans les raies de la couche renversante où les deux causes ne peuvent être séparées, l'action des variations d'éclat doit être très prépondérante.

C'est donc aux lisières des raies que l'on observe l'intensité normale de la granulation. Il semble donc que celle-ci soit localisée, quels que soient l'élément considéré et son niveau, dans une couche n'occupant qu'une

partie de l'épaisseur totale de la vapeur et située au-dessous de la couche supérieure, d'éclat plus uniforme ⁽¹⁾.

65. *Épaisseur et niveau de la granulation. Hypothèse des cellules-tourbillons.* — On peut essayer de préciser l'épaisseur de la couche qui produit la granulation. Celle-ci est bien visible avec la raie Fe 4202 dont la hauteur, au bord solaire, d'après les résultats obtenus au spectrohéliographe, est un peu inférieure à 1000^{km}. Mais c'est là le niveau extrême atteint par la vapeur. Si l'on tient compte, d'une part, que la couche effective qui correspond à une composante donnée, dans une raie, est plus voisine de la surface de l'astre dans les régions centrales du disque que près du bord, où la vapeur se présente sous une épaisseur apparente beaucoup plus grande; et, d'autre part, que la granulation est produite, non dans la couche supérieure, mais dans une couche intermédiaire, on voit que l'épaisseur cherchée ne doit pas dépasser quelques centaines de kilomètres. Elle peut être un peu plus grande pour les vapeurs plus élevées, mais reste néanmoins très faible devant le diamètre moyen des grains, 5000^{km} environ : la granulation est très lenticulaire.

H. Deslandres, frappé de l'aspect et de la distribution des flocculi brillants du calcium ionisé et de l'hydrogène, les avait rapprochés [1] des cellules-tourbillons engendrées dans les liquides en couches minces, chauffés par le bas et refroidis par le haut, dont H. Bénard a fait une étude complète [60]. D'après les discussions précédentes, qui conduisent à admettre que le réseau de flocculi reproduit les maxima du rayonnement de la surface, les cellules-tourbillons de Deslandres auraient plutôt leur siège dans la photosphère même. D'autres cellules-tourbillons, à mailles plus serrées, existeraient au-dessus. Leur ensemble formerait la structure granulaire, reconnue dans cette étude et si généralement visible sur les images de la couche renversante. La structure granulaire H_{x2}, située à un niveau plus élevé que la précédente, mais analogue à celle-ci, pourrait, elle aussi, n'avoir pas d'autre cause.

Si la granulation est bien due, comme nous le supposons ici, aux courants

(1) En signalant cette particularité pour l'hydrogène H_x (§ 25), nous avons relevé une sorte de contradiction entre cet élément et le calcium ionisé, pour lequel l'éclat relatif des détails, dans les images, augmente avec la hauteur. Cette difficulté semble maintenant écartée puisque les deux structures ont une origine différente : il est naturel que l'augmentation du pouvoir émissif, provoqué par l'excès de rayonnement des facules, se transmette à travers l'épaisseur entière de la couche de vapeur; mais il est naturel également que la granulation, localisée dans cette même couche, atteigne sa visibilité maxima pour un niveau effectif optimum, voisin de celui qui correspond aux lisières des raies.

de convection dans la chromosphère, la distribution des grains, à un même niveau, doit être indépendante de la vapeur considérée. On doit, de plus, observer des changements plus ou moins notables, quand le niveau varie.

Il importait donc de rechercher s'il existe une correspondance grain à grain dans les images des divers éléments et si cette correspondance persiste sur les images formées avec les différentes parties d'une même raie. Cette recherche ne pouvait avoir quelque valeur que si les granulations à comparer étaient photographiées simultanément; or, l'appareil de Meudon n'a pas été organisé pour un enregistrement de ce genre. J'ai pu néanmoins, à l'aide de quelques modifications assez simples, décrites ci-dessous, l'adapter provisoirement à cette destination nouvelle. Mais les réglages devenaient très délicats et, seule, la première partie du problème a été abordée.

III. — Correspondance des grains dans les images des diverses vapeurs. Images simultanées.

66. *Dispositif expérimental.* — Le moyen employé pour réaliser l'enregistrement simultané avec deux radiations différentes, a consisté à isoler ces deux radiations à la fois dans la fente sélectrice, le second spectrographe les séparant à nouveau et en formant deux images distinctes sur une même plaque photographique, placée au foyer de la chambre IV *bis*.

A cet effet, un second miroir plan, M'_1 , à réglages indépendants, a été placé près du miroir M_1 (*fig. 4*) qui, dans le montage habituel, réfléchit le faisceau émergeant des prismes dans la direction de la chambre IV. Les deux miroirs étaient disposés de manière à recevoir chacun la moitié environ de ce faisceau. On pouvait dès lors, en orientant convenablement M'_1 , envoyer à la fois sur la fente sélectrice, les images de deux radiations différentes, provenant des deux demi-faisceaux. Un écran, placé en E et percé de deux fenêtres à ouvertures variables, permettait d'équilibrer l'intensité photographique des deux radiations recueillies. Il était aisé, en masquant l'une ou l'autre des fenêtres, d'effectuer séparément les réglages relatifs à chaque radiation.

La raie correspondant au faisceau réfléchi par M_1 étant amenée à sa position dans la fente sélectrice par les moyens de réglage habituels, il fallait d'abord vérifier que la seconde raie lui était bien parallèle (). Cette condition se trouvant automatiquement remplie lorsque les plans des deux

(¹) Les longueurs d'onde des deux raies étant toujours assez voisines, les courbures pouvaient être considérées comme identiques.

spectres coïncident, l'opération consistait à agir sur le rappel en hauteur du miroir M'_1 , jusqu'à ce que les lignes horizontales, produites par les poussières de la première fente dans les deux spectres, soient exactement superposées. Cette méthode s'est montrée très précise.

La principale difficulté était d'isoler la partie voulue de la seconde raie dans la fente sélectrice. Le tambour T_1 , ne pouvant plus être utilisé, c'était la raie elle-même qui devait être déplacée à l'aide du rappel en azimut du miroir M'_1 . Bien qu'une division du tambour de commande dont ce rappel avait été muni, correspondît à une rotation de $3''$ seulement, environ, le déplacement linéaire qui en résultait à la seconde fente avait une valeur près de cinquante fois plus grande qu'une division de T_1 . Dans ces conditions, les lectures étaient faites avec ce dernier tambour, le rappel de M'_1 ne servant qu'à déplacer la raie, par approximations successives, jusqu'à la position convenable. En fait, c'est la difficulté de ce réglage, dont la précision était très inférieure à celle de l'isolement habituel, qui m'a conduit à abandonner la comparaison, avec ce dispositif, des granulations données par les différentes parties d'une même raie, pour laquelle les erreurs d'isolement auraient eu une importance toute particulière.

Une autre difficulté résultait de l'emploi de lentilles simples à la seconde chambre (chambre IV *bis*) du spectrohéliographe. Même lorsque les longueurs d'onde des deux raies étudiées étaient peu différentes, les variations de la distance focale de cette chambre devenaient trop sensibles pour qu'il soit possible d'enregistrer des images simultanées. Aussi, ai-je remplacé la lentille de 2^m , habituellement employée, par un objectif à deux verres Prasmowsky, d'ouverture et de distance focale à peu près égales, mais dont la courbe d'achromatisme était sensiblement identique à celle des autres objectifs du spectrohéliographe.

Enfin, les deux images monochromatiques de la seconde fente, obtenues dans le plan de la troisième, devaient laisser entre elles un intervalle suffisant pour que des portions assez larges du disque solaire, enregistrées simultanément, n'empiètent pas l'une sur l'autre. Cette condition ne pouvait être réalisée pour les couples de raies de longueurs d'onde très voisines. La figure 33 montre l'artifice employé pour obtenir l'écartement voulu dans ce dernier cas. Il consistait à intercaler deux miroirs plans, munis de moyens de réglage convenables, entre le prisme P' et l'objectif de la chambre IV *bis*. Les miroirs étaient disposés de manière à ne pas gêner la transmission directe du faisceau correspondant à l'une des images monochromatiques. L'autre faisceau, le plus voisin de l'arête de P' , était réfléchi deux fois avant de pénétrer, à son tour, dans l'objectif; on pouvait ainsi lui donner une direction variable à volonté. Dans la pratique, on disposait les miroirs de

manière que l'écartement des images, à la troisième fente, soit d'environ 12^{mm}.

La troisième fente, elle-même, était remplacée par un écran percé de

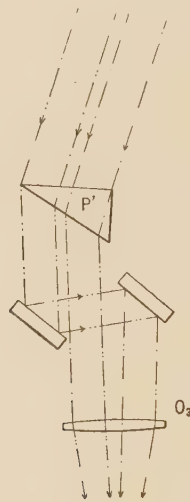


Fig. 33.

deux fenêtres étroites, ne laissant passer que les images de la fente sélectrice et les régions immédiatement voisines.

67. *Couples de raies retenus.* — Le choix des raies à employer s'est trouvé limité à la région du spectre pour laquelle le spectrohéliographe et l'objectif de projection sont parfaitement achromatiques. Malgré le remplacement de la lentille simple de 2^m par un objectif à deux verres, à la chambre IV *bis*, cette région demeure très étroite et ne comprend guère, pratiquement, que l'intervalle 4100-4400. Six des raies étudiées ici se trouvent dans cet intervalle, avec lesquelles trois couples au moins auraient pu être formés.

Mais, pour que la recherche projetée ait quelque valeur, il a été, plus que jamais, nécessaire de n'opérer que dans les rares moments où le calme atmosphérique était à peu près complet. Le diamètre des grains à comparer, en effet, n'excède pas quelques secondes d'arc et la moindre agitation des images suffit à rendre leurs formes indiscernables. D'autre part, la difficulté du double isolement, la nécessité de démonter et de remonter chaque jour les miroirs auxiliaires, qui interféraient avec la combinaison n° I du spectrohéliographe, employée pour les épreuves courantes, ont encore diminué les chances d'obtenir des clichés utilisables.

Finalement, je n'ai retenu que huit paires d'images, six étant données par le couple de raies Fe 4202 — Ca 4227 et deux par le couple Ca 4227 — Fe 4384.

Pour sept paires, les axes des raies étaient sensiblement en coïncidence et la fente sélectrice placée de manière à montrer au mieux les deux granulations. Pour une paire seulement, obtenue avec Fe 4202 et Ca 4227, les axes des raies étaient décalés de telle sorte que la fente isolait à la fois la lisière « violette » de Fe 4202 et l'aile de Ca 4227. On pouvait ainsi faire avec sûreté la discrimination entre les détails pouvant provenir de la structure H_1 , K_1 , et la granulation proprement dite.

68. *Résultats.* — Des positifs de ces diverses images, tirés sur plaques Collodium Guilleminot, qui donnent de très forts contrastes, ont été examinés, point par point, au *blink-microscope*. *Ils n'ont pas révélé de différences appréciables dans la forme et dans la distribution des grains des images simultanées.* De plus, les plages et flocculi, visibles sur l'une des images de la paire pour laquelle les axes des raies étaient décalés, n'ont révélé, même dans les petits détails, aucune parenté avec la structure granulaire de l'autre image.

Ces résultats, pour incomplets qu'ils soient, puisque deux éléments seulement ont été comparés, fournissent néanmoins une précision intéressante sur l'identité de structure des vapeurs basses de calcium et de fer. Ils paraissent indiquer aussi que, pour ce dernier élément, la différence de niveau, faible il est vrai, entre 4202 et 4384, n'a pas d'influence sensible sur l'aspect de la granulation. Ils confirment enfin que la structure H_1 , K_1 est nettement différente de la structure granulaire, comme l'avait déjà révélé l'examen à simple vue.

La méthode des images simultanées, essayée ici dans des conditions défavorables, s'annonce intéressante. Il serait désirable qu'elle pût être appliquée à comparer la granulation des vapeurs basses, à la granulation H_{α_2} , de niveau plus élevé et dont la distribution, sur les régions troublées du disque solaire, est si curieuse. Cette application dépend de la réalisation d'un spectrohéliographe puissant parfaitement achromatique et muni de deux fentes sélectrices à réglages indépendants.



CHAPITRE V.

LES RAIES INFRAROUGES DU CALCIUM IONISÉ.

69. *Intérêt de l'étude, au spectrohéliographe, du groupe infrarouge du calcium ionisé.* — D'après la Table révisée de Rowland, les intensités, sur le disque, des trois raies formant le groupe infrarouge sont les suivantes :

λ .	I.
8498,060	12
8542,132	16
8662,170	15

Ces intensités sont basées sur les estimations faites par W.-F. Meggers [61] et constituent, avec les intensités de Rowland, une échelle homogène.

Les raies infrarouges sont donc extrêmement faibles relativement aux raies violettes H et K. Leur aspect, tel qu'il ressort de l'atlas de Meggers, obtenu en lumière générale est, lui aussi, nettement différent. Elles ne présentent, en particulier, aucun renversement analogue à H_2 , K_2 .

Comparées aux raies de la couche renversante Fe 4144 et Fe 4384, de même importance, étudiées dans ce Mémoire, elles ont une partie médiane large et des ailes faibles. Ces particularités s'observent, comme l'on sait, dans les raies de l'hydrogène avec lesquelles elles ont une assez grande ressemblance.

D'autre part, C. Davidson, employant un spectrographe dont la fente était tangente à une image solaire d'assez grand diamètre (82^{mm}), a pu reconnaître [62] que les trois raies infrarouges sont aisément décelables comme raies d'émission, au delà du bord de l'astre. Toutefois, elles ne s'élèvent pas à une hauteur aussi grande que les raies violettes et sont déjà totalement invisibles à 4000^{km}.

Ainsi, les raies infrarouges du calcium ionisé qui, par leur aspect, s'apparentent à la fois aux raies de l'hydrogène et aux raies des vapeurs basses, atteignent, dans la chromosphère, un niveau intermédiaire entre la couche renversante et la couche supérieure H_3 , K_3 . On peut, dès lors, se demander

si les images spectrohéliographiques, données par ces raies, ne présenteront pas des aspects intermédiaires entre celui des images H_3 , K_3 et celui des vapeurs basses et si, en particulier, elles ne permettront pas de reconnaître une structure granulaire, propre au calcium ionisé et habituellement masquée, dans les images violettes, par l'intensité exceptionnelle des plages et des flocculi.

70. *Plaques à la néocyanine. Hypersensibilisation.* — La possibilité d'obtenir de telles images était liée aux progrès de la sensibilisation chromatique des plaques. La création récente, par les Établissements Eastman Kodak, de plaques à la néocyanine (sensitive to the infrared) d'un manie-ment relativement aisé, m'a permis d'aborder la recherche et j'ai pu, au cours de l'été de 1928, obtenir d'assez bons spectrohéliogrammes avec les deux raies les plus réfrangibles du groupe infrarouge, λ 8498 et λ 8542.

Avant l'emploi, les plaques devaient être hypersensibilisées, pendant 30 secondes, environ, dans un bain d'ammoniaque à 22°, dilué à 5 pour 100; puis, séchées rapidement, d'une façon uniforme et en évitant, autant que possible, le dépôt de poussières sur la couche sensible. Après quelques essais, j'ai obtenu de bons résultats pour le séchage en disposant les plaques, d'abord essorées, à peu près verticalement sur un tourniquet, placé dans un courant d'air sec, filtré sur une toile fine et *aspiré* par un ventilateur. Le tourniquet était mis en marche par le courant d'air lui-même et portait, à cet effet, des demi-sphères creuses analogues à des coquilles d'anémomètre. Le tourniquet et les parois intérieures de la caisse dans laquelle était placé l'appareil étaient enduits d'une mince couche de vaseline qui fixait les poussières entraînées par le courant d'air. Par ce procédé, la durée du séchage dépassait rarement 20 minutes et les plaques étaient très peu tachées. Par contre, elles avaient souvent, dans leurs différentes parties, des sensibilités très variables, comme si le bain d'ammoniaque n'avait pas eu le temps de pénétrer dans toute son épaisseur la couche émulsionnée. J'ai remédié à cet inconvénient en portant à 5 minutes la durée d'immersion dans l'ammoniaque et rinçant à l'eau distillée, avant l'essorage. Les plaques, ainsi traitées, se sont montrées bien régulières. Leur sensibilité était, pour la région spectrale considérée, cinquante fois plus grande, environ, que celle des plaques non hypersensibilisées.

71. *Dispersion employée.* — Malgré ce gain considérable, les nouvelles plaques étaient, par rapport aux Lumière Σ dans le bleu ou le violet, encore extrêmement lentes. Il semblait douteux, *a priori*, que la combinaison à réseau du spectrohéliographe double, seule assez dispersive (1,7 Å

au millimètre) pour donner des résultats comparables à ceux déjà obtenus avec la couche renversante, pût être employée avec succès.

Les premiers essais, cependant, faits avec cette combinaison et la lentille de 2^m à la chambre IV *bis*, n'ont pas été décourageants: une pose de 90 minutes, d'un bord à l'autre de l'astre, donnait des images faibles, mais utilisables. J'ai pu finalement, en remplaçant la lentille de 2^m par celle de 1^m,3, en augmentant quelque peu l'ouverture des fentes et en n'opérant que par temps très clair, obtenir des spectrohéliogrammes d'intensité moyenne dont la pose ne dépassait pas, en général, 45 minutes.

72. *Étude préalable des raies 8498 et 8542, par la méthode du spectro-enregistreur. Aspect sur le disque.* — Plusieurs séries de sections juxtaposées, faites avec les deux raies, à la troisième fente du spectrohéliographe et dans des conditions variées de l'activité solaire, m'ont permis de reconnaître les faits suivants :

Dans les régions du disque non perturbées, voisines du centre de l'astre, les parties médianes des raies, larges, en moyenne, de 0,4 Å, apparaissent bordées d'ailes peu marquées, plus marquées cependant que les ailes des raies de l'hydrogène; l'aspect est sensiblement le même qu'en lumière générale (§ 69). L'élargissement progressif de la partie médiane, au voisinage du bord, est assez sensible. Il paraît être de l'ordre de 15 pour 100, pour les deux raies.

On ne discerne pas d'élargissements locaux nets.

Sur les facules, un renforcement diffus, qui ne paraît pas séparable en composantes, occupe toute la largeur de la partie médiane et se prolonge, sans discontinuité apparente, dans les ailes, où son éclat se confond très vite avec celui du spectre continu voisin. L'aspect est analogue à l'aspect de H_α. Il se différencie nettement, par suite de l'absence de composantes d'indice 2, de celui des raies violettes H et K.

La présence du renforcement rend difficile d'estimer si la partie médiane s'élargit sur les facules.

Aucun essai n'a été tenté pour déterminer les intensités et les largeurs relatives des raies infrarouges sur les taches. Elles semblent se comporter à peu près comme la raie H_α ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ R.-S. Richardson [63] a signalé récemment un cas où les trois raies infrarouges présentaient, sur une partie du noyau et de la pénombre d'une tache, un renversement double analogue à celui des raies H et K.

73. *Aspect au bord. Comparaison avec H_{α} , K_{α} et avec $H_{\alpha 3}$.* — Les raies infrarouges, avec la dispersion employée, montrent nettement l'aspect en « fer de lance » des raies H et K et des raies de l'hydrogène. Il est néanmoins difficile d'évaluer jusqu'à quelle hauteur de la saillie s'élèvent les composantes brillantes d'indice 2. La saillie elle-même n'a pas été mesurée directement. Il m'a paru plus commode et plus précis de la déterminer par la méthode déjà employée pour les raies de la couche renversante. Nous verrons les résultats au paragraphe 78.

Au bord même, la largeur de la composante médiane et, par suite, la distance entre les composantes d'indice 2, plus grande pour 8542 que pour 8498, est intermédiaire entre la largeur de $H_{\alpha 3}$ et celle de K_{α} , comme le montrent le Tableau XIII et les cases 1, 2, 3 de la planche IX, p. 104.

TABLEAU XIII.

Raie.	Largeur, au bord solaire, de la composante d'indice 3.	Distance, au bord solaire, entre les milieux des composantes d'indice 2.
H_{α}	1,3	1,8
Ca II 8542	0,6	1,0
Ca II 8498	0,5	0,8
Ca II 3934	0,4	0,6

Pour les quatre raies, ces valeurs représentent les moyennes de dix mesures, faites en différents points du bord, choisis dans des régions où ne se trouvait aucune protubérance.

En adoptant ici l'interprétation proposée au paragraphe 9, la couche supérieure du calcium ionisé infrarouge aurait ainsi une importance intermédiaire entre la couche supérieure de H_{α} et celle du calcium ionisé violet.

Les raies infrarouges se prolongent faiblement dans les protubérances ⁽¹⁾.

74. *Étude au spectrohéliographe. Clichés retenus.* — La différence entre la courbure des raies et celle de la fente n° 3, la mieux adaptée à la combinaison et à la région spectrale utilisées, est assez forte. Le Tableau XIV, qui prolonge le Tableau VI, donne, en millimètres et en ångströms, les valeurs de la différence des flèches pour des hauteurs variées de la fente.

(1) Ce fait a été signalé par K. Burns, en 1920 [64].

TABLEAU XIV.

Raies.	Différences de flèche (Flèche raie-Flèche fente)					
	en millimètres.			en ångströms.		
	Hauteurs			Hauteurs		
	10 ^{cm.}	16 ^{cm.}	20 ^{cm.}	10 ^{cm.}	16 ^{cm.}	20 ^{cm.}
Ca II 8498	—0,012	—0,029	—0,047	—0,020	—0,049	—0,080
Ca II 8542	—0,010	—0,025	—0,041	—0,017	—0,042	—0,070

Les raies ont été isolées photographiquement, par le procédé déjà employé pour Mg 3838 et indiqué au paragraphe 39. Grâce au remplacement des prismes par le réseau dans lequel l'équilibre de température est réalisé presque au début des observations, les déplacements du spectre, pendant le temps employé à faire et à développer les « épreuves témoin », ont été, en général, assez petits.

La méthode générale d'observation n'a pas différé de celle appliquée précédemment aux raies de la couche renversante : une première série d'images, comportant une partie restreinte du disque solaire, était effectuée avec des positions variées de la fente sélectrice, en vue de reconnaître les caractères généraux des structures et les régions des raies où ces caractères apparaissaient le mieux. La comparaison des intensités de ces diverses images permettait d'établir, approximativement, la gamme des poses à employer en fonction de la distance au milieu des raies. Des épreuves complètes étaient faites ensuite, avec les positions de la fente reconnues comme les plus convenables et répétées, autant que possible, à des jours différents. Enfin, des séries spéciales d'images étaient prises, dans les conditions décrites au paragraphe 42, pour déterminer la hauteur des raies infrarouges au-dessus de la surface de l'astre.

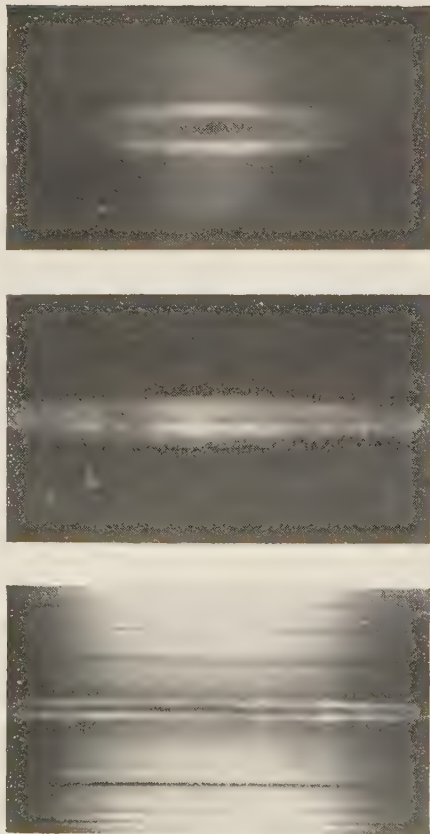
La largeur de la fente sélectrice, pour les diverses séries de clichés, a varié entre $0^{\text{mm}},05 = 0,08 \text{ Å}$ et $0^{\text{mm}},25 = 0,42 \text{ Å}$. Elle était, le plus souvent, de $0^{\text{mm}},10 = 0,17 \text{ Å}$ ⁽¹⁾.

Les difficultés habituelles rencontrées pour obtenir des séries homogènes et complètes étaient encore accrues, ici, par la nécessité d'hypersensibiliser chaque plaque avant l'emploi et par la longueur des poses. Le nombre des clichés retenus est de 30 (19 pour 8542 et 11 pour 8498). Ils totalisent 22 heures environ de pose effective.

75. *Courbe d'intensité des raies.* — Les inégalités — faibles, mais sensibles néanmoins — produites par l'hypersensibilisation dans les opacités

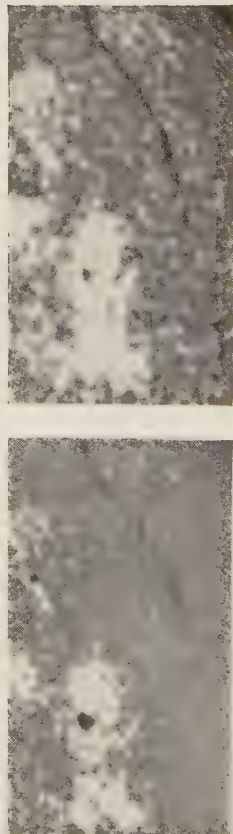
(1) La largeur de la première fente est restée comprise entre $0^{\text{mm}},015$ et $0^{\text{mm}},020$.

Largeur comparée, au bord solaire (fente tangente),
des raies K, 8542 et H_α.
Disposition 1 A 3 A. Dans chaque cas, les longueurs d'onde croissent de la gauche vers la droite.



1. — Raie K. 2. — Raie 8542. 3. — Raie H_α.

Aspect comparé des filaments sur les images obtenues
avec les raies 8542 et K.

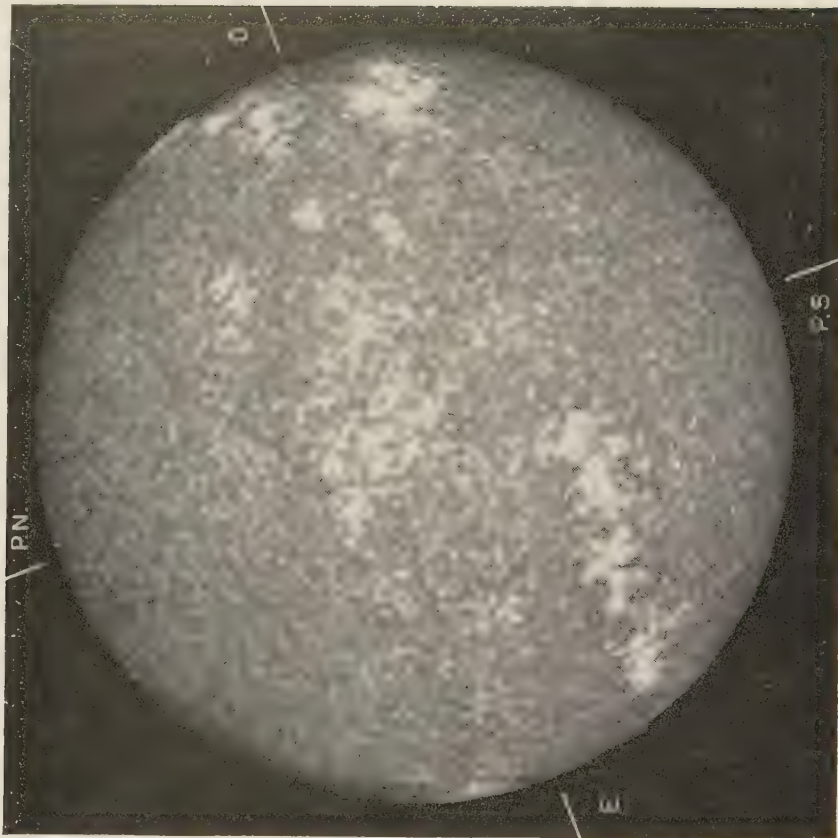


4. — Image 8542. 5. — Image K₃.

Photographies du 29 juin 1928.

Pour les deux images { Largeur de la 1^{re} fente = 0^{mm}, 06.
/ Largeur de la fente sélectrice = 0,17 Å.

6. Image K₃

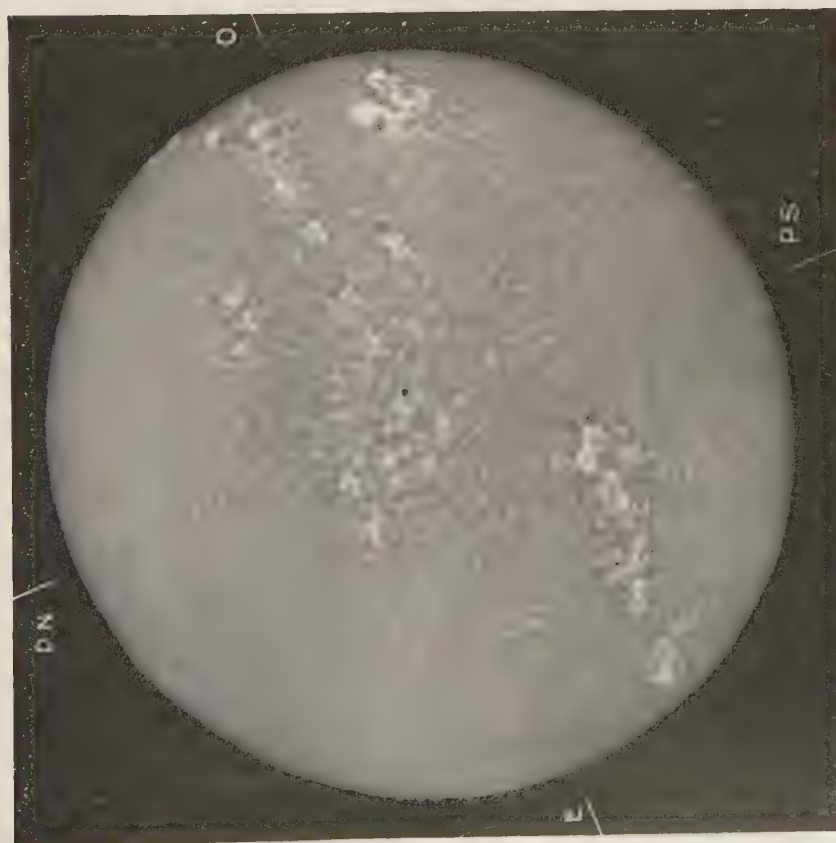


obtenue le 4 septembre 1928, de 15^h 45^m à 15^h 50^m (T. U.).

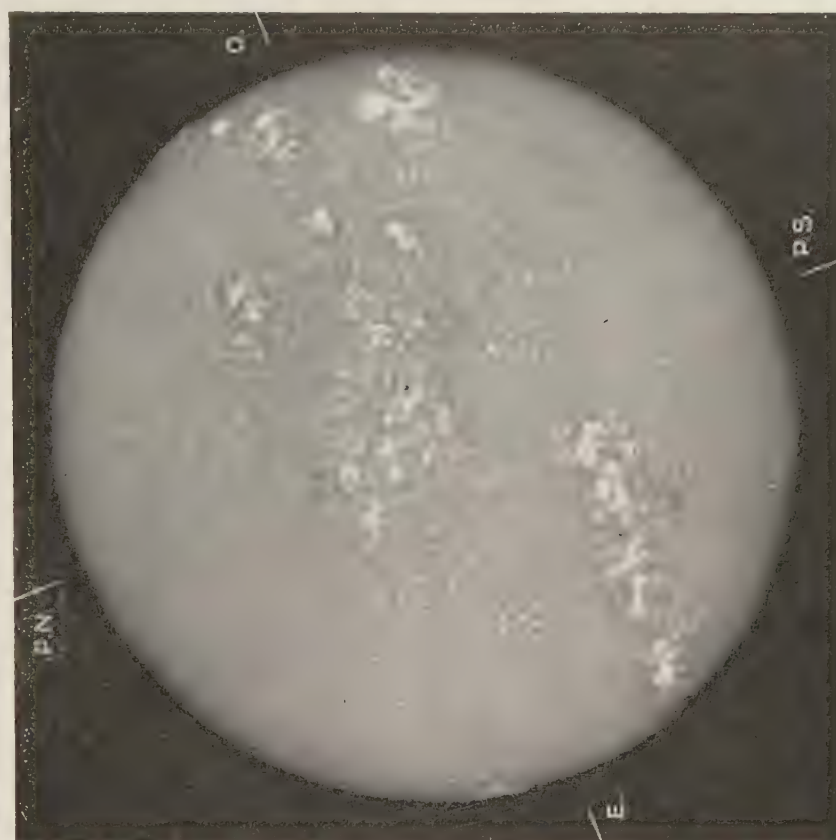
Largeur de la 1^{re} fente = 0^{mm}, 04.

Largeur de la fente sélectrice = 0^{mm}, 09 = 0,15 Å.

Images données par les raies infrarouges du calcium ionisé, λ 8498 et λ 8542.



1. — Image axiale, avec la raie λ 8498
le 4 septembre 1928, de 10 h 53 à 11 h 55 (T. U.).
Longueur de la fente = 0,0002.
Longueur de la fente sélectrice = 0,42 = 0,20 Å.



2. — Image axiale, avec la raie λ 8542
le 4 septembre 1928, de 11 h 55 à 12 h 15 (T. U.).
Longueur de la fente = 0,0002.
Longueur de la fente sélectrice = 0,42 = 0,42 Å.

des clichés, et le nombre restreint de ceux-ci, ne m'ont permis de déterminer avec quelque précision que le rapport des poses entre les images axiales et les images sur le spectre continu. Les épreuves spéciales pour la mesure des hauteurs, où ces deux sortes d'images sont photographiées alternativement, fournissaient d'ailleurs un excellent moyen de contrôler l'exactitude de la détermination. J'ai trouvé ainsi, pour le rapport considéré : 2,5 avec la raie 8498 et 4,0 avec la raie 8542.

Aucune recherche n'a été faite sur la valeur du coefficient de Schwarzschild, pour les plaques hypersensibilisées. La petitesse relative du rapport des poses rendait d'ailleurs la connaissance précise de ce coefficient moins nécessaire. Comme il ne doit pas être très différent de celui des autres plaques, on peut admettre, semble-t-il, que le rapport des intensités se confond pratiquement avec le rapport des poses.

76. *Structure des images données par la raie 8542.* — L'image axiale est, par son aspect (*Pl. X*, case 2; p. 104), intermédiaire entre une image K_3 et une image K_2 . Elle participe de l'image K_3 par la visibilité des filaments, assez bien marqués (*Pl. IX*, cases 4 et 5, p. 104); elle se rapproche d'une image K_2 par la structure des plages faculaires, beaucoup moins compactes et d'une intensité relative plus faible que les plages K_3 (*Pl. IX*, case 6, p. 104). L'ombre des taches n'est pas, en général, recouverte; seule, la pénombre reste masquée.

Les circumfacules sont, sur plusieurs clichés, beaucoup plus visibles que sur les images K_3 . La dispersion relative des flocculi qui constituent les plages brillantes révèle même que l'assombrissement du fond n'est pas limité à une zone extérieure aux facules, mais paraît se produire également sur les facules. L'effet semble plus marqué vers les bords du Soleil. Cette particularité indique, dans l'hypothèse proposée au paragraphe 61, que la couche supérieure du calcium ionisé infrarouge est plus transparente à la lumière sous-jacente que la couche correspondante donnée par les raies violettes du même élément.

Les protubérances sont peu intenses sur les images axiales. Ce fait est en accord avec l'importance, seulement moyenne, de leurs marques d'absorption, sur le disque. Autant qu'a pu le permettre la comparaison, à plusieurs heures d'intervalle, des images d'une même protubérance, obtenues respectivement avec les raies 8542, H_α et K , on peut dire que l'aspect du phénomène ne varie pas d'une manière sensible, lorsqu'on le photographie avec la raie infrarouge ou avec les radiations du spectre visible dont on se sert habituellement.

Quand on écarte la fente sélectrice du milieu de la raie, les caractères

décrits ci-dessus s'atténuent graduellement. Sur les images obtenues aux lisières de 8542, les plages faculaires et les flocculi sont encore assez marqués; les filaments ont presque complètement disparu. Par contre, il semble bien qu'une granulation, analogue à celle que nous avons rencontrée aux lisières des raies de la couche renversante et de la raie H_{α} apparaisse, mêlée aux flocculi. Il serait prématuré, toutefois, de considérer son existence comme démontrée. Seul, un enregistrement simultané avec 8542 et H_{α} ou avec 8542 et une raie des vapeurs basses, permettant la recherche d'une correspondance grain à grain, serait susceptible d'apporter une certitude sur cette question.

Les plages et flocculi disparaissent définitivement, sans avoir marqué d'affaiblissement intermédiaire, quand la fente sélectrice est à $1 \text{ \AA}$ environ, du milieu de la raie. Le manque de précisions sur la courbe d'intensité de celle-ci ne permet pas de conclure si, comme pour toutes les raies précédemment étudiées, cette distance correspond à une région de l'aile où l'intensité résiduelle est voisine de 67 pour 100.

77. *Structure des images données par la raie 8498.* — L'image axiale présente les mêmes caractères que l'image axiale de 8542. Ces caractères sont seulement un peu atténués (*Pl. X*, case 1, p. 104). L'aspect se rapproche de celui d'une image K_2 .

Aux lisières de la raie ($0,2 \text{ \AA}$), les plages faculaires sont déjà faibles. On ne voit pas de granulation. La disparition des plages se produit à $0,7 \text{ \AA}$ environ du milieu de la raie.

78. *Hauteur des raies infrarouges au bord solaire.* — Les Tableaux suivants donnent, sous la même forme que les Tableaux IX et X, les résultats des mesures de diamètres, faites par M^{lle} Roumens (R) et par moi-même (A) et les hauteurs qui s'en déduisent. Comme pour les raies de la couche renversante, les mesures n'ont porté que sur les images pour lesquelles la définition était au moins égale à 3 et dont les opacités, au voisinage du bord, ne différaient pas, dans une même série alternée, de plus d'un tiers.

TABLEAU XV.

Ca II 8498.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
4 sept. 1928, 1 ^{re} série.	3	2	mm 40,538	mm 40,438	mm 0,100	mm 40,496	mm 40,411	mm 0,085
4 sept. 1928, 2 ^e série.	1	2	40,556	40,443	0,093	40,514	40,440	0,074
Δ moyenne.....					0,096			0,080
Écarts maxima.....					+0,004 —0,003			+0,005 —0,006

Ca II 8542.								
DATES.	NOMBRE d'images mesurées.		R.			A.		
			Diamètres		Δ .	Diamètres		Δ .
	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	<i>r.</i>	<i>s. c.</i>		<i>r.</i>	<i>s. c.</i>	
4 sept. 1928.....	2	3	mm 40,635	mm 40,494	mm 0,141	mm 40,628	mm 40,513	mm 0,115
7 sept. 1928.....	2	2	40,655 ⁽¹⁾	40,485	0,170	40,650 ⁽¹⁾	40,503	0,147
Δ moyenne.....					0,155			0,131
Écarts maxima.....					+0,015 —0,014			+0,016 —0,016

(¹) Mesures corrigées du déplacement du Soleil sur la première fente pendant la pose.

TABLEAU XVI.

ÉLÉMENT ET λ .	DIAMÈTRE moyen des images <i>s. c.</i> mesurées.	HAUTEUR (H) DES VAPEURS au-dessus de la surface et écarts maxima (10 ³ kilomètres).			
		R.		A.	
		H.	Écarts maxima.	H.	Écarts maxima.
Ca II 8498	40 ^{mm} ,4	1,7	+0,1 —0,1	1,4	+0,1 —0,1
Ca II 8542	40 ^{mm} ,5	2,7	+0,2 —0,2	2,3	+0,3 —0,3

Ici encore, par suite du petit nombre de clichés utilisés, ces valeurs ne peuvent être présentées que comme provisoires. Il paraît néanmoins très net que la hauteur, où la chute d'intensité des raies infrarouges devient assez rapide pour former *un bord* aux spectrohéliogrammes, est très infé-

rieure à celle des raies H et K ⁽¹⁾. Ce résultat est en accord avec celui, précédemment cité, de C. Davidson (§ 69).

Il est assez remarquable que la raie 8498, dont la saillie au bord est aisément photographiable, s'élève à une hauteur moindre que la raie Mg 3838, pour laquelle aucune saillie ne peut être décelée dans les conditions ordinaires. Cette contradiction apparente tient sans doute aux valeurs très différentes du minimum de la courbe d'intensité des deux raies, trois fois plus élevé pour la première que pour la seconde.

79. *Remarques sur les résultats précédents.* — L'étude, au spectrohéliographe, des raies infrarouges du calcium ionisé, met en évidence un fait curieux : bien que leur aspect soit beaucoup plus voisin de celui de la raie H_{α} de l'hydrogène que de celui des raies H et K, elles fournissent des images dont les caractères, pour les différentes positions de la fente sélectrice, évoluent comme ceux du calcium ionisé violet.

La cause en est, semble-t-il, dans la nature toute différente du renforcement d'éclat provoqué par le rayonnement des facules dans les raies des deux éléments. Dans H_{α} , il est étroitement localisé à l'intérieur de la partie médiane; dans les raies H et K et les raies infrarouges, il déborde, au contraire, largement les lisières de celle-ci. Il en résulte que les détails particuliers aux images des lisières, s'il en existe pour le calcium ionisé, y sont plus ou moins complètement masqués par la structure H_{α} , K_{α} . On explique ainsi que la granulation puisse être seulement soupçonnée avec 8542 et qu'aucune plage sombre ne soit visible, ni avec 8542, ni avec 8498, bien que, par la faiblesse de leurs ailes et l'importance probable de leurs variations de largeur, les deux raies se trouvent dans les conditions où ces plages peuvent apparaître.

⁽¹⁾ Les difficultés opératoires, avec les raies infrarouges, ne m'ont pas permis de tenter la détermination de la hauteur des composantes d'indice 2. Le faible niveau auquel atteint la vapeur rend d'ailleurs cette dernière recherche particulièrement délicate.

RÉSUMÉ.

80. *Résultats acquis.* — Plusieurs faits nouveaux ont été mis directement en évidence par les observations effectuées au cours de ce travail. Résumons les principaux :

1° Les raies à ailes fortes de la couche renversante fournissent, au spectrohéliographe, trois images distinctes suivant que la fente sélectrice est placée : *a.* au milieu des raies; *b.* aux lisières de leur partie médiane; *c.* dans les ailes.

Deux types de structures, séparés ou mélangés en proportions diverses, concourent à former l'aspect des images : **1**, un réseau de plages et de flocculi brillants, très analogues aux plages et flocculi H_1 , K_1 ; **2**, une granulation, analogue à la granulation H_{α} , à peu près uniformément répartie sur le disque solaire et dont les éléments sont quatre ou cinq fois plus gros que ceux de la granulation photosphérique. Dans l'image en *a*, les structures **1** et **2** sont visibles à la fois, en proportions quelque peu variables suivant les raies étudiées. En *b*, **2** subsiste à peu près seule. En *c*, on n'observe que **1**.

2° Avec les raies à ailes faibles de la couche renversante, l'image, en *c*, ne diffère pas de celle de la surface; les images, en *a* et en *b*, sont à peu près les mêmes que précédemment. Toutefois, dans certains cas, à la granulation de *b*, se mêlent des plages sombres analogues aux plages H_{α_1} , H_{β_1} , ..., mais moins marquées.

3° Sur les images en *a*, données par la raie Sr II 4078, la structure **1** est nettement moins marquée que sur les images correspondantes données par les autres raies.

4° Il existe une dissymétrie dans l'aspect des images obtenues aux deux lisières de la partie médiane des raies : la granulation est, en général, plus nette, mieux dégagée de la structure **1** sur la lisière la plus réfrangible. La dissymétrie diminue avec l'intensité de Rowland. Elle paraît même s'annuler au voisinage de l'intensité 10.

5° Autant qu'il a été possible d'en juger au blink-microscope sur quelques images simultanées obtenues avec les deux couples de raies Fe 4202 — Ca 4227 et Ca 4227 — Fe 4384, il n'y a pas de différence

appréciable dans la forme et la distribution des grains des structures **2** du calcium et du fer.

6° L'aspect des taches, sur les diverses images, n'est pas, en général, très sensiblement modifié. Cependant, sur certaines images axiales, les petites taches sont parfois recouvertes ou légèrement voilées par les plages brillantes de la structure **1**.

7° Les raies infrarouges du calcium ionisé 8498 et 8542, qui n'avaient pas été, jusqu'ici, étudiées au spectrohéliographe, fournissent des images analogues à celles des raies violettes H et K du même élément. L'image axiale donnée par 8542 participe de l'image H₃, K₃ par la visibilité des filaments; elle se rapproche de l'image H₂, K₂ par la structure des plages faculaires, beaucoup moins compactes et d'intensité relative plus faible que les plages H₃, K₃. Dans l'image aux lisières de 8542, une faible granulation, analogue à la structure **2**, paraît être mélangée aux plages et flocculi. Mais le petit nombre et la qualité, parfois médiocre, des clichés obtenus, ne permet pas d'affirmer son existence d'une manière certaine.

8° Les hauteurs, au bord solaire, des raies de la couche renversante Mg 3838, Sr II 4078, Fe 4202, Ca 4227, Fe 4384, Mg 5184, Na 5890 et des deux raies infrarouges Ca II 8498 et Ca II 8542, ont été déterminées en comparant, sur des séries spéciales de spectrohéliogrammes, les diamètres des images axiales et des images obtenues sur le spectre continu, au voisinage de chaque raie. Pour les raies de la couche renversante, elles ont été trouvées comprises, avec une approximation de l'ordre de $0,4.10^3$ km, entre $0,7.10^3$ km (Fe 4202) et $2,3.10^3$ km (Mg 3838). Les raies infrarouges du calcium ionisé s'élèvent respectivement à 1,5 et $2,5.10^3$ km (résultats moyens).

9° Accessoirement, les courbes d'intensité de huit raies de la couche renversante ont été déterminées, par la comparaison de plages d'opacités photographiques égales obtenues au spectrohéliographe, sur les différentes parties de chaque raie.

81. *Interprétations.* — Les résultats que nous venons de résumer brièvement permettent de préciser, dans une certaine mesure, nos idées sur l'origine des divers détails des images chromosphériques :

1° L'affaiblissement momentané de la structure **1**, aux lisières des raies à ailes fortes de la couche renversante, indique que, malgré leur similitude d'aspect, les plages et flocculi des images axiales n'ont pas la même origine que les plages données par les ailes. Il apporte un argument décisif en faveur de l'hypothèse, faite par J. Evershed et par P. Fox, que les plages H₁, K₁ et, d'une façon plus générale, de toutes

les images en c , sont les facules elles-mêmes, enregistrées à l'aide de leur spectre continu.

2° L'augmentation du pouvoir émissif des vapeurs basses, provoqué par le rayonnement plus intense des facules, est donc localisée à l'intérieur de la partie médiane. L'aspect particulier des images aux lisières révèle qu'il existe, près de celles-ci, deux zones très étroites où l'émission reste prépondérante, sans que l'action des facules s'y fasse sentir sensiblement.

3° Le même aspect se retrouve dans les images obtenues près des lisières de la raie H_x de l'hydrogène. La coïncidence approchée entre la position qu'occupe alors la fente sélectrice et celle des composantes brillantes, visibles au delà du bord, nous a conduit à appeler ces images, images H_{x_2} ; l'indice 3 étant réservé aux images axiales. Par analogie, il semble légitime, pour chaque raie R de la couche renversante, d'appeler respectivement R_2 et R_3 les images aux lisières et les images axiales. Les résultats obtenus au spectrohéliographe confirment l'existence, dans les raies des vapeurs basses, d'une structure complexe déjà reconnue extérieurement au bord par Hale, Adams et Burwell, mais habituellement invisible sur le disque avec le simple spectrographe et même avec le microphotomètre.

4° La diversité d'aspect des images obtenues au spectrohéliographe avec les différentes catégories de raies paraît avoir pour cause principale l'importance plus ou moins grande du renforcement de l'émission provoqué, dans ces raies, par les parties de la photosphère dont le rayonnement est plus intense : Exceptionnellement marqué avec H et K et, dans une mesure un peu moindre, avec les raies infrarouges 8498 et 8542; encore très intense avec H_x ; il est, par contre, très faible avec les raies de la couche renversante. Si l'on pouvait l'écarter, les divers images, débarrassées des plages et des flocculi, ne montreraient probablement qu'une granulation plus ou moins marquée, plus ou moins uniforme. Cette granulation se révèle ainsi comme le caractère essentiel de la structure propre des vapeurs; elle est due, semble-t-il, à des différences locales de pression et de densité, provoquées par les courants de convection qui brassent les masses gazeuses.

Les deux types fondamentaux, reconnus auparavant dans les images des vapeurs de niveaux élevés, se retrouvent ainsi, exclusivement, dans les spectrohéliogrammes de la couche renversante, mais en proportion différente. Il ne semble pas qu'il en existe d'autres dans la chromosphère.

5° La granulation paraît être identique pour les divers éléments de la couche renversante, dont les niveaux sont peu différents, eu égard à la dimension des grains. Au niveau plus élevé de la couche H_{x_2} , elle revêt, dans les régions faculaires, un aspect très particulier (*Solar Vortices*). On n'a pu vérifier que, dans les autres régions, ses grains correspondaient,

plus ou moins directement, à ceux des éléments métalliques peu élevés.

6° Les images données par les raies H et K ne la montrent pas. Mais, dans ces raies, le renforcement d'émission provoqué par les facules, déborde largement au delà des lisières. Peut-être y masque-t-il, dans les images H_2 , K_2 et H_3 , K_3 , la structure granulaire qui pourrait apparaître ? L'aspect particulier des images aux lisières avec la raie 8542 fournit quelques indications en faveur de cette hypothèse. Néanmoins, la question ne paraît pas tranchée.

7° La présence de plages et flocculi sombres, dans les images axiales données par les raies de l'hydrogène H_β , H_γ , H_δ , peut s'expliquer en admettant que, dans ces raies, la lumière photosphérique résiduelle est encore importante. L'augmentation du rayonnement, au-dessus des facules, se traduit alors par un assombrissement des raies. Un phénomène analogue produirait les circumfacules de la couche supérieure du calcium ionisé (8542, 8498, H et K) dont l'opacité à la lumière sous-jacente ne serait pas totale, dans les conditions habituelles.

La raie Sr II 4078, pour laquelle les plages et flocculi brillants des images axiales sont exceptionnellement faibles, n'absorberait pas totalement, non plus, la lumière photosphérique. Mais elle se trouverait au voisinage des conditions de compensation où l'augmentation du pouvoir émissif équilibre l'effet, sur la lumière photosphérique résiduelle, de l'augmentation du pouvoir absorbant.

Enfin, la visibilité, progressivement décroissante, de la granulation, sur les images H_β , H_γ , H_δ , serait due, elle aussi, à la présence, dans ces raies, d'une quantité de lumière photosphérique de plus en plus forte, qui réduirait, jusqu'à les rendre insensibles, les petites différences de contraste entre les grains et leurs intervalles.

8° L'apparition de plages sombres, dans les images aux lisières des raies Fe 4202 et Sr II 4078, confirme l'interprétation proposée autrefois, pour expliquer les plages analogues observées dans les images H_{α_1} , H_{β_1} Ces plages sont dues à des sinuosités des lisières, produites par des augmentations de largeur des raies dans les régions faculaires.

9° La dissymétrie, aux lisières des raies, dans la visibilité de la granulation et des plages sombres, paraît liée à une dissymétrie dans la courbe d'intensité des raies, révélée directement par certains tracés au microphotomètre ou par la méthode spectrohéliographique employée ici. Elle peut s'expliquer, dans la plupart des cas, par un effet Doppler-Fizeau résultant d'un mouvement relatif de descente des couches élevées des vapeurs par rapport aux couches basses, analogue à celui qui permet de rendre compte de la dissymétrie des composantes H_2 , K_2 du calcium ionisé.



INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

ABRÉVIATIONS.

A. J.....	The Astrophysical Journal.
C. R.....	Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.
Lick.....	Lick Observatory Bulletin.
M. N.....	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
P. N. A. S..	Proceedings of the National Academy of Sciences.
Pacific.....	Publications of the Astronomical Society of the Pacific.
Z. f. P.....	Zeitschrift für Physik.

1. H. DESLANDRES, *Recherches sur l'atmosphère solaire* (Annales de l'Observatoire de Meudon, t. 4, 1^{re} partie, 1910).
2. H.-A. ROWLAND, *Preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths* (A. J., t. 1, 1895, p. 29). Voir aussi C.-E. SAINT-JOHN, CHARLOTTE E. MOORE, LOUISE M. WARE, E.-F. ADAMS, H.-D. BABCOCK, *Revision of Rowland's Preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths* (Publications of the Carnegie Institution, n° 396, 1928).
3. A. UNSÖLD, *Über die Struktur der Fraunhoferschen Linien und die Dynamik der Sonnenchromosphäre* (Z. f. P., t. 44, 1927, p. 793).
4. K. SCHWARZSCHILD, *Über Diffusion und Absorption in der Sonnenatmosphäre* (Sitzber. der k. preuss. Akad. der Wissenschaften zu Berlin, 1914, p. 1183).
5. M. MINNAERT, *Die Intensität innerhalb Fraunhoferschen Linien* (Z. f. P., t. 45, 1927, p. 610).
6. C.-E. SAINT-JOHN, *Motion and Condition of Calcium Vapor over Sun-Spots and other Special Regions* (A. J., t. 34, 1911, p. 131).
7. C.-E. SAINT-JOHN, *The General Circulation of the Mean and High-Level Calcium Vapor in the Solar Atmosphere* (A. J., t. 32, 1910, p. 36).
8. H. DESLANDRES, *Étude de l'atmosphère solaire autour des taches* (C. R., t. 141, 1905, p. 377).
9. H. DESLANDRES, *Recherches sur les mouvements de l'atmosphère solaire* (C. R., t. 119, 1894, p. 457).
10. H. DESLANDRES, *Grands alignements et tourbillons de l'atmosphère solaire* (C. R., t. 147, 1908, p. 467).
11. H. DESLANDRES, *Sur la photographie de la chromosphère du Soleil* (C. R., t. 118, 1894, p. 842).
12. L.-E. JEWELL, *The Coincidence of Solar and Metallic Lines. A Study of the Appearance of Lines in the Spectra of the Electric Arc and the Sun* (A. J., t. 3, 1896, p. 89).

13. A. UNSÖLD, *On the Physical Interpretation of Spectroheliograms* (A. J., t. 69, 1929, p. 275).
14. E.-F. CARPENTER, *A Photometric Study of the Flash Spectrum* (Lick, t. 12, n° 384, 1927, p. 183).
15. G.-E. HALE and F. ELLERMAN, *The Rumford Spectroheliograph of the Yerkes Observatory* (Publ. of the Yerkes Observatory, t. 3, partie I, 1903).
16. H. DESLANDRES, *Sur l'enregistrement des éléments variables du Soleil* (C. R., t. 117, 1893, p. 716).
17. L.-E. JEWELL, *Absolute Wave-Lengths, Spectroscopic Determinations of Motions in the Line of Sight, and other Related Subjects* (A. J., t. 11, 1900, p. 234).
18. G. ABETTI, *Osservazioni e memorie del R. Osservatorio astrofisico di Arcetri*, depuis 1922.
19. H. VON KLÜBER, *Quantitative Untersuchungen an Absorptionslinien im Sonnenspektrum* (Z. f. P., t. 44, 1927, p. 481).
20. A. UNSÖLD, *Über die Struktur der Fraunhoferschen Linien und die quantitative Spektralanalyse der Sonnenatmosphäre* (Z. f. P., t. 46, 1928, p. 765).
21. H. DESLANDRES et L. D'AZAMBUJA, *Examen critique des images monochromatiques du Soleil avec les raies de l'hydrogène* (C. R., t. 148, 1909, p. 1235).
22. G.-E. HALE and F. ELLERMAN, *On the Nature of the Hydrogen Flocculi and their Structure at Different Levels in the Solar Atmosphere* (Proceedings of the Royal Society of London, t. 83, 1910, p. 177).
23. F. ELLERMAN, *Solar Hydrogen « Bombs »* (A. J., t. 46, 1917, p. 298).
24. H. DESLANDRES, *Recherches nouvelles sur l'atmosphère solaire* (C. R., t. 114, 1892, p. 276).
25. G.-E. HALE, *The Aim of the Yerkes Observatory* (A. J., t. 6, 1897, p. 310).
26. G.-E. HALE, *On the Presence of Carbone in the Chromosphere* (A. J., t. 6, 1897, p. 412).
27. G.-E. HALE and W.-S. ADAMS, *Photography of the « Flash » Spectrum without an Eclipse* (A. J., t. 30, 1909, p. 222).
28. W.-S. ADAMS and CORA G. BURWELL, *The Flash Spectrum without an Eclipse. Region λ 4800- λ 6600* (A. J., t. 41, 1915, p. 116).
29. H. DESLANDRES, *Remarques sur l'état actuel des recherches solaires et sur les moyens de les améliorer* (C. R., t. 141, 1905, p. 477).
30. G.-E. HALE and W.-S. ADAMS, *A Photographic Comparison of the Spectra of the Limb and the Center of the Sun* (A. J., t. 25, 1907, p. 300).
31. H. BUISSON et C. FABRY, *Comparaison des spectres du centre et du bord du Soleil* (C. R., t. 148, 1909, p. 1741).
32. C.-E. SAINT-JOHN, *The Red Shift of Solar Lines and Relativity* (P. N. A. S., t. 12, 1926, p. 65).
33. C.-E. SAINT-JOHN, *Evidence for the Gravitational Displacement of Lines in the Solar Spectrum Predicted by Einstein's Theory* (A. J., t. 67, 1928, p. 195).
34. E.-A. MILNE, *The Equilibrium of the Calcium Chromosphere* (M. N., t. 86, 1926, p. 578).
35. Z.-A. MERFIELD, *Conférence faite à la Société royale de Victoria, Melbourne* (Australie), 1926.
36. G.-E. HALE, *Photography and the Invisible Solar Prominences* (The Sidereal Messenger, t. 10, 1891, p. 257).
37. H. DESLANDRES et L. D'AZAMBUJA, *Enregistrement de la couche supérieure du calcium dans l'atmosphère solaire* (C. R., t. 147, 1908, p. 334).
38. H. DESLANDRES, *Sur la photographie des diverses couches superposées qui composent l'atmosphère solaire* (C. R., t. 138, 1904, p. 1375).
39. H. DESLANDRES, *Nouvelle série de photographies de la chromosphère entière du Soleil* (C. R., t. 126, 1898, p. 879).

40. G.-E. HALE and F. ELLERMAN, *The Minute Structure of the Solar Atmosphere* (*P. N. A. S.*, t. 2, 1916, p. 102).
41. J. EVERSLED, *The Rumford Spectroheliograph of the Yerkes Observatory* (*The Observatory*, t. 27, 1904, p. 164).
42. P. FOX, *Observations with the Rumford Spectroheliograph* (*A. J.*, t. 21, 1905, p. 351).
43. G.-E. HALE, *Solar Vortices* (*A. J.*, t. 28, 1908, p. 100).
44. H. DESLANDRES et L. D'AZAMBUJA, *Images monochromatiques multiples du Soleil, données par les raies larges du spectre* (*C. R.*, t. 149, 1909, p. 521).
45. T. ROYDS, *On the Absorption Markings in H_{α} Spectroheliograms* (*M. N.*, t. 71, 1911, p. 723).
46. T. ROYDS, *Note on Spectroheliograms taken with Different Parts of the H_{α} Line* (*M. N.*, t. 85, 1925, p. 464).
47. G.-E. HALE and F. ELLERMAN, *The Five Foot Spectroheliograph of the Solar Observatory* (*A. J.*, t. 23, 1906, p. 54).
48. H. DESLANDRES et L. D'AZAMBUJA, *Reconnaissance des couches supérieures du calcium et de l'hydrogène dans l'atmosphère solaire et des mêmes filaments noirs dans les deux couches* (*C. R.*, t. 148, 1909, p. 1011).
49. G.-E. HALE, *A Test of the Electromagnetic Theory of the Hydrogen Vortices surrounding Sun-spots* (*P. N. A. S.*, t. 11, 1925, p. 691).
50. H. DESLANDRES, *Sur la recherche de la partie de l'atmosphère coronale du Soleil projetée sur le disque* (*C. R.*, t. 117, 1893, p. 1053).
51. H. DESLANDRES, *Images spéciales du Soleil données par les rayons simples, qui correspondent aux raies noires du spectre solaire* (*C. R.*, t. 119, 1894, p. 148).
52. H. DESLANDRES et L. D'AZAMBUJA, *Recherches sur l'atmosphère solaire. Vapeurs à raies noires et amas de particules* (*C. R.*, t. 144, 1907, p. 229).
53. S.-B. NICHOLSON and L.-H. HUMASON, *Spectroheliograms using the Iron Lines $\lambda 3720$, $\lambda 3735$, $\lambda 3860$* (*Pacific*, t. 38, 1926, p. 263).
54. G.-E. HALE, *Visual Observations of the Solar Atmosphere* (*P. N. A. S.*, t. 12, 1926, p. 286).
55. L. D'AZAMBUJA, *Sur un procédé de synchronisation des rouages d'horlogerie et des pendules employés en Astronomie* (*C. R.*, t. 173, 1921, p. 494).
56. H. DESLANDRES, *Recherches sur l'atmosphère solaire et appareils enregistreurs des couches de vapeurs superposées qui la composent* (*Bulletin astronomique*, t. 22, 1905, p. 305).
57. S.-A. MITCHELL, *Wave-Lengths of the Chromosphere from Spectra obtained at the 1905 Eclipse* (*A. J.*, t. 38, 1913, p. 407).
58. M^{lle} M. HANOT et M. H. GUILLEMET, *Sur les lois du noircissement photographique : cas où la source lumineuse est une série d'étincelles électriques* (*C. R.*, t. 186, 1928, p. 1048).
59. J. EVERSLED, *The Height of the Chromosphere* (*The Observatory*, t. 48, 1925, p. 146).
60. H. BÉNARD, *Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide* (*Revue générale des Sciences*, t. 11, 1900, p. 1261 et 1309).
61. W.-F. MEGGERS, *Solar and Terrestrial Absorption in the Sun's Spectrum from $6500 \text{ \AA}$ to $9000 \text{ \AA}$* (*Publications of the Allegheny Observatory*, t. 6, 1919, p. 13).
62. C. DAVIDSON, *The Relative Intensity of the Principal Doublet (H, K) and the Diffuse Doublet (X) in the Spectrum of the Calcium Chromosphere* (*M. N.*, t. 88, 1927, p. 30).
63. R.-S. RICHARDSON, *Photograph of the Solar Spectrum Showing Bright and Dark Components in the Calcium Lines $\lambda 8498,060$, $\lambda 8542,132$, and $\lambda 8662,170$* (*Pacific*, t. 40, 1928, p. 348).
64. K. BURNS, *New Infra-red Lines in the Solar Prominence Spectrum* (*Lick*, t. 10, n° 327, 1920, p. 67).

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
AVANT-PROPOS	I

INTRODUCTION.

ASPECT ET PARTICULARITÉS DES RAIES DU SPECTRE SOLAIRE.

1. Remarques préliminaires.....	5
---------------------------------	---

I. — Raies H et K du calcium ionisé.

2. Caractères généraux sur le disque	5
3. Aspect au bord.....	8
4. Interprétations	9

II. — Raies de l'hydrogène.

5. Caractères généraux. Aspect au bord.....	11
6. Aspect de la raie H _α sur le disque.....	12
7. Raies H _β , H _γ , H _δ	14
8. Raie H _ε	14
9. Interprétations	15

III. — Raies de la couche renversante.

10. Caractères généraux au bord.....	16
11. Caractères généraux sur le disque.....	17
12. Déplacement des raies vers le rouge du spectre.....	19

CHAPITRE I.

STRUCTURES CHROMOSPHÉRIQUES OBSERVÉES JUSQU'ICI AU SPECTROHÉLIOGRAPHE.

I. — Images données par les raies H et K du calcium ionisé.

13. Considérations générales.....	22
14. Images K ₃ , K ₂ , K ₁	23
15. Caractères spéciaux à l'image K ₃	25
16. Aspect des taches sur les diverses images.....	25
17. Correspondance entre la structure de la surface et celle des images du calcium ionisé.	26
18. Origine des plages faculaires et des flocculi.....	26
19. Réserve sur l'origine des plages faculaires et des flocculi dans les images H ₁ , K ₁	28

II. — *Images données par les raies de l'hydrogène.*

	Pages.
20. Images données par les différentes parties de la raie H_{α}	29
21. Images H_{β} , H_{γ} , H_{δ}	32
22. Aspect des taches sur les images de l'hydrogène.....	33
23. Nature des plages et flocculi sombres observés aux lisières des raies de l'hydrogène..	33
24. Plages et flocculi sombres observés avec les parties médianes de H_{β} , H_{γ} , H_{δ}	34
25. Granulation et <i>Solar Vortices</i>	35
26. Plages faculaires brillantes H_{α}	36
27. Conventions sur les indices des composantes.....	37

III. — *Images données par les raies de la couche renversante.*

28. Historique	37
----------------------	----

IV. — *Résumé. Structures types observées au spectrohéliographe.*

29. Tableau récapitulatif.....	42
30. Types fondamentaux.....	42

CHAPITRE II.

IMAGES DES VAPEURS BASSES OBTENUES A MEUDON DE 1926 A 1928.

INSTRUMENT ET MÉTHODE D'OBSERVATION.

I. — *L'instrument.*

31. Dispositions générales.....	43
32. Appareil astronomique.....	43
33. Le spectrohéliographe.....	44
34. Mouvements simultanés; organes moteurs.....	49

II. — *Choix des raies.*

35. Catégories de raies à considérer.....	51
36. Conditions limitatives. Raies finalement retenues.....	52

III. — *Méthode d'observation.*

37. Choix de la dispersion et du système dispersif.....	53
38. Courbure des raies.....	55
39. Isolement des raies.....	57
40. Images pour la détermination de la courbe d'intensité des raies.....	59
41. Reconnaissance et étude des structures.....	61
42. Séries spéciales d'images pour la détermination de la hauteur des vapeurs.....	61
43. Organisation du travail. Clichés retenus.....	63

CHAPITRE III.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

	Pages.
44. Divisions de l'exposé.....	65

I. — *Courbes d'intensité des raies.*

45. Estimation des opacités et passage aux intensités.....	65
46. Résultats détaillés.....	66

II. — *Structure des images.*

47. Répartition des raies en groupes donnant des résultats analogues.....	69
48. Images données par les raies du groupe 1.....	69
49. Images données par les raies du groupe 2.....	72
50. Images données par les raies Fe 4104 et Fe 4202.....	73
51. Images données par la raie Sr II 4078.....	74
52. Aspect des taches sur les diverses images. Assombrissement du bord.....	75
53. Récapitulation.....	75

III. — *Hauteur des vapeurs au-dessus de la surface.*

54. Causes d'erreur dans les mesures sur les séries alternées.....	76
55. Détail des mesures.....	77
56. Résultats d'ensemble. Hauteur des vapeurs.....	80
57. Hauteur des raies K ₃ et K ₂	81

CHAPITRE IV.

DISCUSSION DES RÉSULTATS. IMAGES SIMULTANÉES.

I. — *Plages faculaires et flocculi.*

58. Distinction entre les plages brillantes observées respectivement sur les images axiales et dans les ailes des raies.....	82
59. Plages sombres observées aux lisières des raies Fe 4202 et Sr II 4078.....	84
60. Dissymétrie dans la visibilité des plages sombres.....	89
61. Remarques sur les plages sombres observées dans les images axiales des raies de l'hydrogène H _β , H _γ , H _δ . Cas des circumfacules et des images axiales du strontium ionisé.....	89

II. — *Granulation.*

62. Origine de la granulation. Généralité du phénomène.....	91
63. Dissymétrie dans la visibilité de la granulation aux deux lisières des raies.....	92
64. Affaiblissement de la granulation dans les images axiales.....	94
65. Épaisseur et niveau de la granulation. Hypothèse des cellules-tourbillons.....	95

III. — *Correspondance des grains dans les images des diverses vapeurs. Images simultanées.*

66. Dispositif expérimental.....	96
67. Couples de raies retenus.....	98
68. Résultats.....	99

CHAPITRE V.

LES RAIES INFRAROUGES DU CALCIUM IONISÉ.

	Pages.
69. Intérêt de l'étude, au spectrohéliographe, du groupe infrarouge du calcium ionisé...	100
70. Plaques à la néocyanine. Hypersensibilisation.....	101
71. Dispersion employée.....	101
72. Étude préalable des raies 8498 et 8542, par la méthode du spectro-enregistreur.	
Aspect sur le disque.....	102
73. Aspect au bord. Comparaison avec H_3 , K_3 et avec $H_{\alpha,3}$	103
74. Étude au spectrohéliographe. Clichés retenus.....	103
75. Courbe d'intensité des raies.....	104
76. Structure des images données par la raie 8542.....	105
77. Structure des images données par la raie 8498.....	106
78. Hauteur des raies infrarouges au bord solaire.....	106
79. Remarques sur les résultats précédents.....	108

RÉSUMÉ.

80. Résultats acquis.....	109
81. Interprétations.....	110
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....	113
TABLE DES MATIÈRES.....	117

SECONDE THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Les multiplets du spectre du fer.

Vu et approuvé :

Paris, le 7 avril 1930.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

C. MAURAIN.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 7 avril 1930.

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

S. CHARLÉTY.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET C^{ie}

89206 Quai des Grands-Augustins, 55.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET C^e,
89206 Quai des Grands-Augustins, 55.
